

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

L'APPORT DE LA VISION DANS LA PERCEPTION ET LA PRODUCTION
DES VOYELLES: UNE ÉTUDE COMPARATIVE ENTRE LOCUTEURS
ADULTES VOYANTS ET NON VOYANTS

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN LINGUISTIQUE

PAR

PAMÉLA TRUDEAU-FISETTE

DÉCEMBRE 2015

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Mes plus sincères remerciements vont à Lucie Ménard. Merci pour ton intérêt pour mon projet, merci pour ta disponibilité, merci pour ton dévouement, merci pour les merveilleuses expériences de congrès, mais surtout, merci d'avoir cru en moi. Ta passion pour la recherche et ta rigueur scientifique font de toi une directrice exceptionnelle; travailler avec toi est un réel plaisir. C'est avec une fierté inexprimable que je poursuis mon parcours académique à tes côtés!

Merci à mes lectrices, Lori Morris et Anne-Marie Parisot, d'avoir accepté de lire mon projet avec attention. Votre lecture méticuleuse et vos commentaires précieux ont assurément permis d'accroître la qualité de ma recherche.

Un merci spécial à Mark Tiede et à Takashi Mitsuya pour m'avoir aidée à construire mon projet et pour vos réponses – toujours rapides – à mes questions.

Merci aux membres du Labo: Dominique, Christine, Lucile, Annie, Caroline, Amélie, Thomas, Laureline. Merci pour votre écoute et vos nombreuses idées. Un merci tout spécial à Marie. Merci d'avoir fait en sorte que ces deux dernières aient été si agréables, mais merci surtout d'être une si bonne amie!

Merci à mes parents, à ma sœur, à ma nièce et à mes amis de m'avoir supportée et encouragée dans mon projet, ça y est: c'est fini!!!

Finalement, merci à Félix. Merci pour les encouragements, merci pour les fous-rires, et merci pour ton temps... cette denrée si rare!

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	II
RÉSUMÉ	II
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I CADRE THÉORIQUE	4
1.1 Perception et production de la parole	6
1.2 Multimodalité de la parole.....	9
1.3 Parole et cécité.....	11
1.4 Perturbations sensorielles	14
1.4.1 Perturbation de la rétroaction auditive	17
CHAPITRE II MÉTHODOLOGIE.....	32
2.1 Participants	34
2.2 Corpus et protocole expérimental.....	36
2.2.1 Corpus	36
2.2.2 Protocole expérimental.....	37
2.2.3 Conditions expérimentales	41
2.3 Procédures d'enregistrement	43

2.3.1 Instrumentation.....	44
2.4 Analyse des données.....	48
2.4.1 Analyse des données perceptuelles	48
2.4.2 Analyse des données acoustiques.....	49
2.4.3 Analyse des données articulatoires	50
2.4.4 Analyse de la relation entre les résultats perceptuels et acoustiques	52
2.4.5 Analyse de la relation entre les résultats acoustiques et articulatoires.....	52
CHAPITRE III	
RÉSULTATS.....	54
3.1 Tâche de perception.....	55
3.1.1 Seuil d'identification.....	55
3.1.2 Pente de la courbe d'identification.....	56
3.1.3 Valeur de la frontière catégorielle entre les cibles [ø] et [e]	57
3.2 Tâche de production – Résultats acoustiques	58
3.2.1 F1.....	58
3.2.2 F2.....	60
3.2.3 F3.....	64
3.3 Tâche de production - Résultats articulatoires.....	65
3.3.1 Déplacements articulatoires en trois dimensions	65
3.3.2 Déplacements articulatoires en dimensions isolées	72
3.4 Relation entre les aptitudes perceptuelles et le degré d'adaptation acoustique .	81
3.5 Relation entre le degré de compensation acoustique et l'importance des déplacements articulatoires.....	83

CHAPITRE IV	
DISCUSSION	87
4.1 Observations d'un point de vue acoustique	88
4.2 Observations d'un point de vue articulatoire.....	92
CONCLUSION.....	97
BIBLIOGRAPHIE	100

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Figure 1.1 Représentation du modèle DIVA de perception et de production de la parole (tirée de Gunther, 2006).....	6
Figure 1.2 Traits de classification articulatoire et acoustique des voyelles du français québécois.....	8
Figure 1.3 Représentation de la compensation sensorielle due à une manipulation du retour visuel via un prisme.....	16
Figure 2.1 Représentation de l'effet de la manipulation acoustique de F2 dans le trapèze vocalique.	33
Figure 2.2 Aperçu de l'affichage du test de perception	40
Figure 2.3 Représentation simplifiée de la configuration expérimentale de la manipulation acoustique (Adapté de Jones et Munhall, 2000)	42
Figure 2.4 Représentation des blocs expérimentaux et du degré d'altération de F2 (Hz) en fonction de la répétition	43
Figure 2.5 Représentation des dimensions X, Y et Z de l'articulographe électromagnétique (AG500) du laboratoire de phonétique de l'UQAM	46

Figure 2.6	Disposition de l'ensemble des capteurs utilisés lors des enregistrements articulatoires.....	47
Figure 3.1	Taux d'identification [ø] pour l'ensemble des stimuli du continuum [e-ø] en fonction de sa valeur de F2, pour chacun des deux groupes à l'étude.	56
Figure 3.2	Ratios des valeurs formantiques de F1 pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.....	59
Figure 3.3	Ratios des valeurs formantiques de F2 pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.....	60
Figure 3.4	Ratio moyen des valeurs de F2 pour chacune des répétitions, pour les deux groupes à l'étude.	62
Figure 3.5	Ratios des valeurs formantiques de F3 pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.....	65
Figure 3.6	Déplacement de la lèvre supérieure, en trois dimensions, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.	66
Figure 3.7	Déplacement de la lèvre inférieure, en trois dimensions, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.	68
Figure 3.8	Déplacement de l'apex de la langue, en trois dimensions, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.	69
Figure 3.9	Déplacement du dos de la langue, en trois dimensions, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.	71
Figure 3.10	Déplacement, sur la dimension avant-arrière, de la lèvre supérieure, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.	73
Figure 3.11	Déplacement, sur la dimension haut-bas, de la lèvre supérieure, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.	74
Figure 3.12	Déplacement, sur la dimension avant-arrière, de la lèvre inférieure, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.	75

Figure 3.13	Déplacement, sur la dimension haut-bas, de la lèvre inférieure, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.	76
Figure 3.14	Déplacement, sur la dimension avant-arrière, de l'apex de la langue, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.	77
Figure 3.15	Déplacement, sur la dimension haut-bas, de l'apex de la langue, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.	78
Figure 3.16	Déplacement, sur la dimension avant-arrière, du dos de la langue, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.	80
Figure 3.17	Déplacement, sur la dimension haut-bas, du dos de la langue, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.	81
Figure 3.18	Relation entre la pente de la courbe d'identification perceptuelle et le degré de compensation acoustique de F2	83
Figure 3.19	Relation entre l'adaptation acoustique de F2 et l'adaptation articulatoire de la lèvre inférieure pour les deux dernières phases expérimentales	84
Figure 3.20	Relation entre l'adaptation acoustique de F2 et l'adaptation articulatoire du dos de la langue pour les deux dernières phases expérimentales	85
Figure 4.1	Schématisation du rapport entre la catégorisation de cibles acoustiques et la compensation nécessaire à un changement de cible.	90

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
Tableau 1.1 Recensement d'études de manipulation acoustique de F0, F1 et F2.	19
Tableau 2.2 Informations quant à l'ensemble des participants de l'étude.....	35
Tableau 2.3 Position des articulateurs visibles et non visibles de la parole pour la production des voyelles [e] et [ø].	37
Tableau 2.4 Valeurs formantiques et largeurs de bandes des stimuli composant le test perceptuel	39

RÉSUMÉ

Il est établi que la production de la parole est étroitement reliée à la perception de celle-ci qui est, par nature, audiovisuelle. Il a été montré, chez des aveugles congénitaux, que la privation sensorielle visuelle entraîne une réduction des mouvements labiaux lors de la production des voyelles. En guise de compensation, les personnes aveugles accordent-elles un poids plus important à la perception auditive que leurs pairs voyants?

Des enregistrements acoustiques et articulatoires (EMA) de 10 sujets voyants et de 10 sujets aveugles congénitaux ont été effectués. Ils ont d'abord dû produire plusieurs répétitions de la voyelle /ø/ en condition non perturbée. Ensuite, dans la condition perturbée, les locuteurs ont reçu, comme rétroaction sensorielle, via un casque d'écoute, une version altérée de leur propre parole en temps réel. Les productions entendues étaient donc différentes de celles produites. Pour répondre à cette perturbation et entendre ce qu'ils ont réellement produit, les participants ont donc eu à compenser leurs productions en adaptant leurs prononciations. Cette adaptation fut d'autant plus grande que le poids de la perception auditive fut important pour un sujet.

Les résultats démontrent que les locuteurs aveugles, en compensant davantage suite à la perturbation provoquée, accordent un poids plus important à la rétroaction auditive que leurs pairs voyants. Ce projet permet d'observer le rôle de la vision sur la perception et la production de la parole et d'appuyer l'idée selon laquelle la vision occupe une place importante dans l'implémentation phonétique des cibles phonologiques.

Mots clés : Parole, vision, cécité congénitale, manipulation auditive, stratégies compensatoires.

INTRODUCTION

L'acquisition de la parole est un phénomène qui implique des procédés multimodaux. Effectivement, le nouveau-né utilisera les différents indices sensoriels qui lui sont offerts afin de mettre en place et de structurer les cibles phonémiques, et les mouvements articulatoires qui y sont associés, qui constitueront sa langue maternelle.

L'apport de l'information auditive dans les processus d'acquisition de la parole est reconnu depuis longtemps. Les études cliniques auprès des populations sourdes oralisantes ont d'ailleurs permis de démontrer qu'une privation sensorielle auditive avait un impact considérable sur les procédés du développement de la parole orale; particulièrement lorsque la surdité est présente dès la naissance.

La contribution des indices visuels dans les processus de perception et de production de la parole est toutefois moins connue. Néanmoins, certaines études ont récemment su démontrer qu'une privation visuelle congénitale engendrait également des difficultés dans les mécanismes développementaux de la parole. L'effet McGurk, une illusion perceptuelle créée par une incohérence des informations auditives et

visuelles témoigne d'ailleurs clairement de l'influence de la vision dans la perception de la parole.

Globalement, les études observant l'impact d'une cécité congénitale sur les aptitudes perceptuelles démontrent qu'une privation sensorielle visuelle engendre souvent de meilleures aptitudes au plan auditif. Effectivement, les aires cérébrales destinées aux traitements des indices visuels seraient restructurées vers l'analyse des informations auditives.

Afin d'investiguer davantage l'impact d'une cécité congénitale dans les procédés d'acquisition de la parole, nous proposons d'observer les comportements acoustiques et articulatoires de locuteurs québécois adultes voyants et non voyants lors d'une tâche de production vocalique au cours de laquelle une manipulation acoustique de la rétroaction auditive est appliquée; la manipulation acoustique étant un protocole expérimental permettant de modifier la perception des informations auditives perçues, en temps réel.

L'objectif général de ce mémoire est donc d'évaluer le poids accordé à la perception visuelle dans les mécanismes de perception et de production de la parole. Nous nous attarderons principalement aux différentes stratégies acoustiques et articulatoires employées par chacun des deux groupes étudiés afin d'adapter leurs productions dans le but de pallier la manipulation de la rétroaction acoustique qui leur est appliquée.

Le chapitre 1 présentera un survol des notions théoriques décrivant les processus multimodaux de perception et de production de la parole, en portant une attention particulière à l'organisation des voyelles du français québécois. Par la suite, une revue des études s'intéressant aux habiletés langagières chez les locuteurs non

voyants et de celles employant le protocole de manipulation acoustique sera exposée.

Au chapitre 2, nous présenterons le matériel expérimental et les participants ayant pris place aux différentes tâches. Nous discuterons ensuite du protocole expérimental utilisé, puis exposerons les méthodes d'enregistrements et d'analyses employées.

Les résultats soulignant les stratégies acoustiques et articulatoires utilisées par les locuteurs voyants et non voyants feront l'objet du chapitre 3.

Finalement, le chapitre 4 se verra être une discussion des résultats précédemment exposés. Ces derniers seront mis en relation avec les notions théoriques et les écrits importants présentés plus tôt.

En lumière des observations et découvertes nouvelles, nous proposerons, en guise de conclusion, un retour sur les faits marquants de l'étude présentée et proposerons quelques pistes de recherche qui gagneraient à être explorées.

CHAPITRE I

CADRE THÉORIQUE

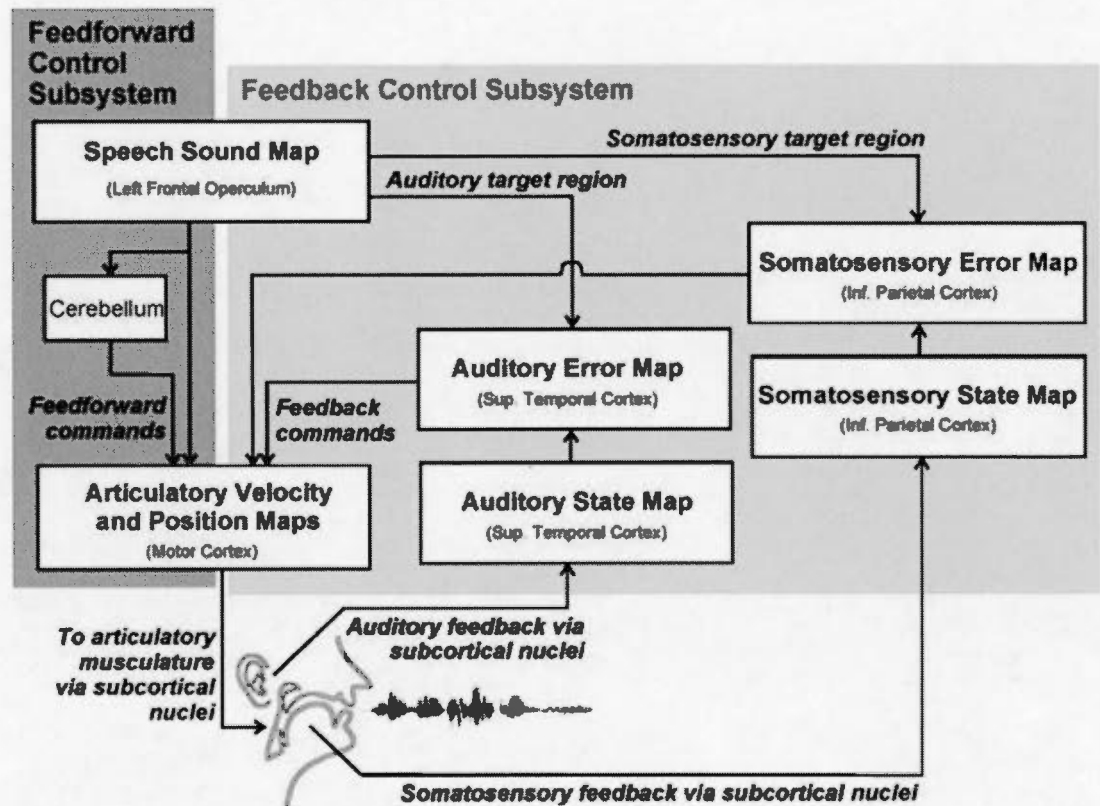
Le présent chapitre introduira les principes généraux permettant d'établir la pertinence de la recherche proposée. Un survol de la théorie du contrôle de la parole par buts auditifs, théorie sur laquelle s'appuie notre recherche, sera d'abord présenté. Par la suite, nous aborderons les concepts de perception et de production de la parole, en nous attardant particulièrement aux paramètres régulant les voyelles du français québécois. Nous discuterons ensuite de l'aspect multimodal de la parole. Finalement, une recension des études utilisant le paradigme de manipulation sensorielle sera présentée.

Le présent travail s'inscrit dans la théorie du contrôle de la parole par buts sensoriels (Perkell et coll., 2000). Une revue de la littérature actuelle permet d'affirmer que la rétroaction auditive occupe, dès la naissance, une place importante dans les mécanismes reliés à la planification du langage. Effectivement, lors de la période du babillage, les sons seraient associés aux mouvements des articulateurs qui sont nécessaires à leur production. L'enfant encore en développement emmagasinerait

alors les informations tactiles, proprioceptives et auditives des productions perçues et émises afin de se construire un modèle sensorimoteur de parole, qui correspond, de façon simplifiée, à une table de correspondances des mouvements articulatoires et de leurs conséquences acoustiques¹. Une fois ledit modèle créé, ce serait sa composante d'anticipation (feedforward system) qui contrôlerait les articulateurs de la parole. Il ne serait donc plus nécessaire pour le locuteur d'avoir sans cesse recours à la rétroaction auditive, celle-ci pouvant être absente ou trop lente pour un usage en temps réel (Guenther et Perkell 2004). Chez l'adulte, la rétroaction auditive a plutôt pour rôle de tenir à jour le modèle des liens sensori-moteurs de la parole et de permettre de l'adapter aux différentes conditions de parole (par exemple dans une salle très bruyante ou suite à une anesthésie locale due à une chirurgie dentaire) par la régulation de certains paramètres segmentaux et suprasegmentaux qui garantissent un degré d'intelligibilité donné (Jones et Munhall, 2002; Villacorta, 2006). Ce modèle théorique a été modélisé par un modèle neurocomputationnel de la production de la parole, le *Direction Into Velocities of Articulators* (DIVA) proposé par Guenther et Perkell en 2004. C'est sur ce modèle théorique que s'appuie la présente recherche (pour une version détaillée du modèle, voir Perkell et coll. (2000), Guenther et Perkell (2004) et Gunther (2006)). La figure 1.1 permet d'en comprendre le fonctionnement. Différentes études cliniques et expérimentales ont d'ailleurs permis d'attester le rôle joué par la rétroaction auditive sur la perception et la production de la parole. Celles-ci seront présentées à la fin de cette section.

¹ Dans la version ancienne du modèle (Perkell et coll., 2000), les buts sensoriels n'étaient que de nature auditive. Plus tard (Guenther et Perkell, 2004), les buts sensoriels ont incorporé des informations de nature acoustique et somatosensorielle.

Figure 1.1 Représentation du modèle DIVA de perception et de production de la parole (tirée de Gunther, 2006)



1.1 Perception et production de la parole

Rappelons que la production d'une voyelle requiert un passage de l'air continu dans le conduit vocal (de la glotte aux lèvres). Toutefois, il est possible de moduler ce passage de manière à produire différentes cibles acoustiques distinctives.

Au niveau articulaire, quatre paramètres assurent la classification des voyelles du français. Effectivement, les traits relatifs au degré d'aperture, au lieu d'articulation,

au niveau d'arrondissement et au type de résonnance permettent de représenter l'ensemble des voyelles. Les deux autres critères articulatoires que sont l'articulateur et la vibration des cordes vocales ne sont pas discriminants pour les voyelles du français, toutes les voyelles étant ici dorsales et voisées, si l'on exclut les effets de coarticulation. Les informations acoustiques sont étroitement liées aux traits articulatoires. Effectivement, la valeur de F1 correspond, de manière antinomique, à la dimension de hauteur d'une voyelle alors que la valeur de F2 fait référence à la dimension avant-arrière d'une production vocalique (Martin, 1996; Robert-Riès et coll., 1998). Ces paramètres acoustiques et articulatoires sont illustrés à la figure 1.2. et seront développés dans la section qui suit. Il est à souligner que cette représentation ne tient pas compte des variantes phonétiques du français québécois.

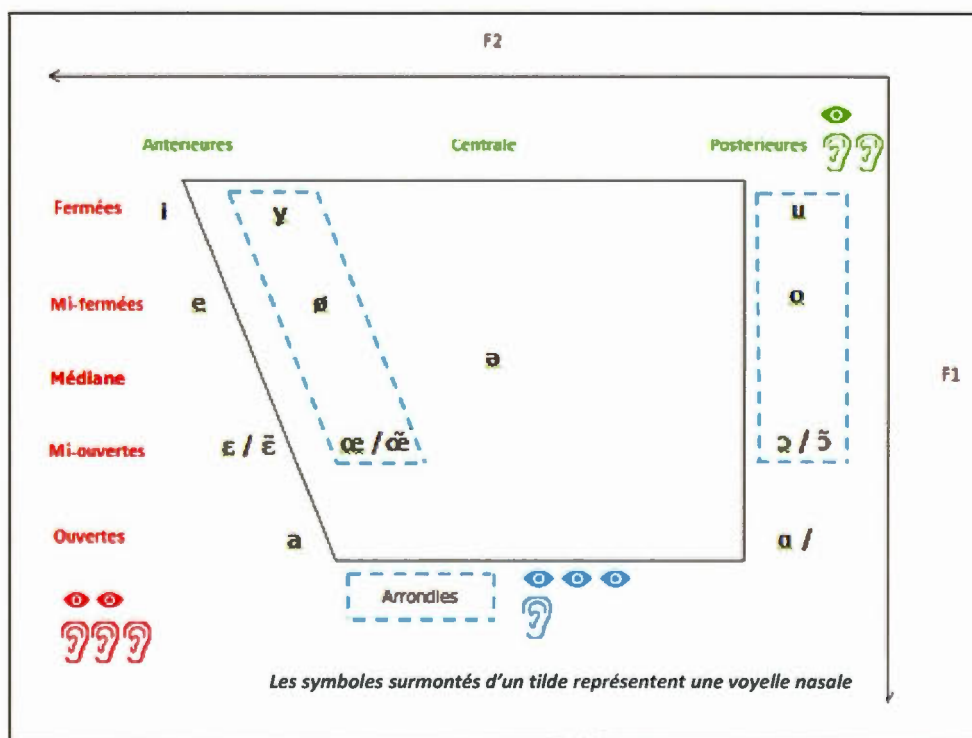
D'abord, le trait d'aperture permet de distinguer les voyelles en fonction du degré d'ouverture de la mâchoire et de la distance entre la langue et le palais. Il assure donc l'opposition des voyelles fermées, mi-fermées, médianes, mi-ouvertes et ouvertes. À titre d'exemple, ce paramètre assure la distinction des voyelles fermées [i y u], des voyelles mi-fermées [e ø o], des voyelles mi-ouvertes [ɛ œ ɔ], et des voyelles ouvertes [a ɑ].

Le lieu d'articulation, quant à lui, réfère au point de rapprochement entre l'articulateur et le palais, dans la partie supérieure du conduit vocal. Il permet de différencier les voyelles antérieures [i e ɛ a y ø œ] des voyelles centrales [ə] et postérieures [ɑ u o ɔ], pour lesquelles les points d'articulation sont respectivement le palais dur, la partie avant du palais mou et la partie arrière du palais mou.

Le niveau d'arrondissement est relié à l'avancement ou non des lèvres. Ce trait sépare les voyelles arrondies [y ø œ u o ɔ] des voyelles non arrondies [i e ɛ a ə ɑ]. Soulignons qu'en projetant les lèvres vers l'avant, le locuteur forme une nouvelle cavité, soit la cavité labiale.

Finalement, le type de résonance réfère à l'abaissement ou non du voile du palais. Lorsque le voile est abaissé, l'air propulsé des poumons traverse les fosses nasales. Autrement, il passe plutôt par la cavité orale. Notons que seulement quatre voyelles ont leur équivalente nasale. Les voyelles orales [ɛ œ a ɔ] sont alors produites [ẽ õ ã õ̃].

Figure 1.2 Traits de classification articulatoire et acoustique des voyelles du français québécois



1.2 Multimodalité de la parole

En plus de montrer comment la relation entre F1 et F2 régit l'organisation du trapèze vocalique en français, la figure 1.2 permet également de souligner l'aspect multimodal de la parole en indiquant comment les modalités auditive et visuelle agissent de manière complémentaire dans la perception de cibles acoustiques.

Voulant observer l'apport de ces deux modalités sur l'identification des voyelles du français, Robert-Ribès et coll. (1998) ont procédé à un test perceptuel au cours duquel les participants devaient identifier la cible vocalique perçue. Le jugement de perception sur l'identification des voyelles a été réalisé alors que ces dernières étaient produites en condition de parole bruitée et a permis l'établissement d'une échelle de robustesse des traits articulatoires dans la perception des voyelles.

Toujours à la figure 1.2, il est possible d'observer la robustesse de ces traits en fonction de la modalité avec laquelle ils sont perçus. Dans cette figure, la présence des symboles d'œil et d'oreille réfère à la modalité par laquelle les traits peuvent être perçus (l'œil référant à la vision et l'oreille, à l'audition), alors que le nombre de répétitions de chacun des symboles correspond à la robustesse des traits dans chacune des modalités (un œil ou une oreille référant à une robustesse moins grande que trois yeux ou trois oreilles). On y remarque que les traits les mieux identifiés varient selon le mode perceptuel. En termes d'indices auditifs, les paramètres d'aperture et de lieu d'articulation sont plus facilement détectables que celui de l'arrondissement des lèvres. Quant aux indices visuels, ils permettent d'identifier les paramètres d'arrondissement et d'aperture, mais ont un apport négligeable sur l'identification du lieu d'articulation (Robert-Ribès et coll., 1998). En plus de noter l'apport propre à chacune des deux modalités perceptuelles étudiées, on comprend que l'usage simultané des modalités auditive et visuelle assure un taux supérieur d'identification des voyelles du français.

Des résultats supportant cette hypothèse ont été rapportés par Benoît et coll. (1994). Les auteurs démontrent que l'identification de voyelles est significativement meilleure en présentation bimodale, soit audiovisuelle. De plus, ils avancent que lorsque les informations acoustiques sont insuffisantes, les voyelles les plus facilement identifiées sont celles pour lesquelles l'arrondissement des lèvres est impliqué, soit le paramètre le mieux perçu par la modalité visuelle.

Un même constat est possible lorsqu'on s'attarde aux indices auditifs et visuels utilisés pour l'identification de constituants mis en emphase. Encore une fois, il semblerait que, lorsque les informations prosodiques auditives sont insuffisantes, l'ajout d'indices visuels permettrait, non seulement une meilleure identification, mais aussi une diminution du temps de réaction nécessaire à la reconnaissance de constituants mis en emphase (Dohen et Loevenbruck, 2009). Cette diminution des temps de réaction reflèterait d'ailleurs une réduction de la charge cognitive associée à la tâche d'identification.

L'effet McGurk, une illusion audiovisuelle résultant de la combinaison d'indices auditifs et visuels incongrus illustre pleinement l'interaction des informations articuloacoustiques (McGurk et MacDonald, 1976). Pour créer l'illusion en question, une source audiovisuelle est présentée à un sujet. De cette source, les informations acoustiques indiquent la production de la syllabe [ba] alors que les informations visuelles montrent l'articulation de la syllabe [ga]. De manière générale, cette source audiovisuelle est perçue [da], soit une fusion des informations auditives et visuelles. Ces consonnes étant opposées quant au trait du lieu d'articulation, le cerveau humain perçoit alors la consonne dont le lieu d'articulation y est intermédiaire. Cet effet illustre pleinement la relation de complémentarité des corrélats auditifs et visuels dans la perception de la parole.

Cette complémentarité des systèmes auditif et visuel est mise à profit dès le plus jeune âge. Effectivement, lors de son développement, l'enfant utilise les informations nécessaires à la production d'une parole intelligible. De ce fait les modalités auditives, visuelles et aussi somatosensorielles sont impliquées dans le développement des habiletés de production et de perception de la parole (Ito, Tiede et Ostry, 2009; Ménard, à paraître; Guenther et Perkell, 2004; Skipper, 2007). Il a d'ailleurs été démontré que, par les indices sonores qu'il entend et par les mouvements de lèvres et de la mâchoire qu'il voit, un locuteur parvient à associer à chaque phonème les mouvements articulatoires appropriés. Encore une fois, cette observation laisse prédire que les habiletés perceptuelles des locuteurs ne se limitent pas uniquement aux informations acoustiques (Sumby et Pollack 1954; Benoît, Mohamadi et Kandel 1994; Dohen, et Loevenbruck, 2009; Jääskeläinen, 2010). Considérant la relation étroite entre la perception et la production de la parole, il s'avère pertinent d'évaluer l'impact d'une privation visuelle sur la production de la parole.

1.3 Parole et cécité

Bien qu'une cécité entraîne une importante perte d'informations sensorielles, il semblerait que, si celle-ci est survenue en bas âge, le cerveau humain soit en mesure de s'y adapter en compensant le degré de sensibilité des autres modes sensoriels (Fortin et coll., 2007, Voss et coll., 2010, Kujala et coll., 2005). Effectivement, différentes études s'attardant à la plasticité et à la réorganisation cérébrales appuient l'hypothèse d'une compensation sensorielle chez les aveugles congénitaux; cette compensation étant particulièrement importante au niveau des informations auditives et tactiles (Fortin et coll., 2007). Les techniques de neuroimagerie ont d'ailleurs permis d'observer d'importants changements quant à la plasticité chez les personnes

présentant une privation sensorielle. Il s'avère que chez les aveugles congénitaux, les zones normalement réservées à la vision ne sont pas inopérantes, mais serviraient plutôt à traiter des informations provenant d'autres sources perceptuelles (Voss et coll., 2010).

Le fait que les personnes non voyantes démontrent des habiletés langagières similaires à celles des personnes voyantes laisse présupposer que le rôle de la vision dans la perception et la production de la parole n'est pas crucial (Leclerc, 2007; Ménard, à paraître; Ménard et coll., 2009). Néanmoins, plusieurs études supportent l'idée d'une différence considérable entre les habiletés motrices et perceptuelles des locuteurs aveugles et voyants (Niemeyer et Starlinger 1981; Hugdahl et coll., 2004; Gougoux et coll., 2004; Leclerc, 2007; Ménard et coll., 2009; Ménard, à paraître).

Il est d'ailleurs avancé que les personnes privées de la faculté visuelle auraient, dû à une réorganisation cérébrale, de meilleures aptitudes perceptives. Effectivement, les aveugles congénitaux performeraient mieux que les voyants lors de différentes tâches de perception telles que la discrimination de fréquences et de hauteur de la voix, la comparaison de courbes mélodiques et l'identification de phrases, de syllabes ou de voyelles présentées dans le bruit (Niemeyer et Starlinger 1981; Hugdahl et coll., 2004; Gougoux et coll., 2004; Leclerc, 2007; Ménard, à paraître; Arnaud et coll. 2013). Aussi, alors qu'ils s'intéressent aux aptitudes de localisation d'une source sonore chez des sujets voyants et non voyants, Lessard et coll. (1998) démontrent que les personnes aveugles congénitales identifient de façon similaire ou supérieure la présence d'une source acoustique. De plus, leur capacité de localisation d'une source sonore monaurale est supérieure à celle des personnes voyantes. Une étude s'intéressant à l'identification de sons lointains a su illustrer que les personnes non voyantes de naissance étaient en mesure d'identifier de manière plus précise la distance à laquelle provenait le son à identifier, appuyant l'idée d'une réorganisation corticale suite à leur cécité (Voss et coll., 2004). Une technique de neuroimagerie

permettant le suivi de la circulation sanguine au cerveau a d'ailleurs permis de démontrer que la région occipitale de sujets non voyants était activée lors de tâches de localisation de son monaural (Gougoux et coll., 2005).

Les études portant sur la production de la parole chez les locuteurs non voyants sont moins nombreuses. Tout de même, plusieurs chercheurs se sont intéressés aux répercussions d'une cécité sur les habiletés motrices reliées aux mouvements de la parole.

Chez le nouveau-né, il a été démontré qu'une cécité occasionnait moins d'imitations des mouvements labiaux, une phase de babillage plus longue et un retard dans la production des premiers mots (pour une revue, voir Leclerc, 2007 et Ménard, 2013). Ces résultats reflètent qu'une déficience visuelle de naissance prive l'enfant d'indices fondamentaux lui permettant de développer des stratégies articuloacoustiques nécessaires à la production de cibles phonologiques viables (Ménard, à paraître).

Chez l'adulte, Ménard et coll., (à paraître) notent des différences acoustiques entre les productions des locuteurs voyants et non voyants. Sur le plan suprasegmental, elles démontrent que les personnes aveugles congénitales produiraient des voyelles plus longues que leurs pairs voyants. Au niveau segmental, elles montrent que les locuteurs non voyants produisent des cibles vocaliques plus distancées les unes par rapport aux autres. Aussi, alors qu'elles s'intéressent à l'aspect articulatoire de la parole, Ménard et coll. (2009) ont pu observer qu'une privation sensorielle visuelle entraînait une réduction des mouvements labiaux. Plus récemment, une étude a contribué à l'approfondissement des connaissances quant aux différences motrices impliquées dans la production de la parole. On y avance que les personnes non voyantes produiraient un degré d'arrondissement des lèvres nettement moins important que leurs pairs voyants (Ménard, à paraître). Alors qu'elle s'intéresse à la

production de constituants mis en emphase, Ménard (à paraître) observe que les personnes aveugles congénitales produiraient des mouvements labiaux moins hyperarticulés que les personnes pour lesquelles la modalité visuelle est accessible. Des résultats similaires sont rapportés par Leclerc (2007). Dans un même ordre d'idées, Trudeau-Fisette et coll. (2013) ont démontré que les personnes voyantes et non voyantes utiliseraient des stratégies articulatoires différentes afin de produire une parole intelligible. En s'attardant à la parole dans le bruit, elles avancent que les locuteurs voyants utilisent davantage leurs lèvres alors que les locuteurs non voyants compenseraient en usant principalement de leur langue. Ménard et coll. (à paraître) ont voulu comparer les productions de personnes voyantes et non voyantes en condition de parole normale et hyperarticulée. Elles démontrent que la différence entre la position de la lèvre inférieure entre les deux conditions de parole est plus petite pour les locuteurs aveugles que pour les locuteurs voyants. Il semblerait donc que les personnes voyantes useraient davantage de leurs articulateurs visibles afin de produire une parole plus intelligible. La rétroaction visuelle semble donc avoir une incidence directe sur le contrôle des articulateurs de la parole et, par conséquent, sur les cibles acoustiques produites.

La section qui suit introduira les différents types de manipulations sensorielles; un intérêt particulier sera porté aux manipulations de la rétroaction auditive.

1.4 Perturbations sensorielles

La population sourde oralisante a grandement été étudiée afin d'observer les rôles et fonctions du retour auditif sur le développement des habiletés langagières. À l'opposé de la population à développement typique, pour qui la relation entre la perception et la production de la parole s'effectue sans complications, les personnes

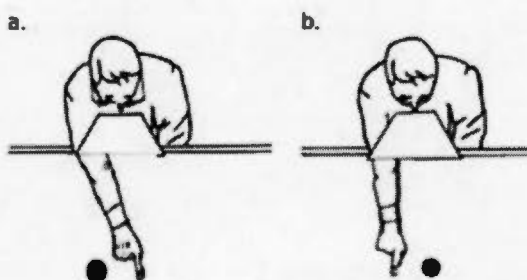
ayant une déficience auditive qui ne sont pas appareillées et qui utilisent le langage oral sont souvent aux prises avec divers retards de parole (Oller et Eilwers, 1988; Lane et coll., 2005). En effet, sachant que la perception et la production de la parole sont étroitement liées (Perkell et coll., 2004), une privation auditive, provoquant une perception défaillante ou absente, aura un impact sur la production de la parole. Il est à noter, cependant, qu'une partie importante de la population sourde utilise les langues signées et, en cela, utilise l'oralisation dans un contexte de langue signée. Ce type d'oralisation est cependant différent de celles que nous étudions ici.

Une panoplie d'auteurs se sont intéressés aux conséquences d'une surdité sur les habilités vocales et ont su démontrer que les personnes sourdes congénitales non appareillées présentent des troubles d'acquisition de la langue orale (Oller et Eilwers, 1988; Lane et coll., 2005). Aussi, des études ont avancé que les personnes présentant une surdité postlangagière montrent des indices de détérioration de certains paramètres segmentaux et suprasegmentaux de la parole assurant l'intelligibilité de leurs productions, par exemple la distance acoustique entre les voyelles, leur durée ou encore le rythme et le volume de la séquence parlée (Lane et Webster, 1991; Burnett et coll., 1998; Houde et Jordan, 1998; Lane et coll., 2005; Perkell et coll., 2004). De manière générale, ces études portant sur une population clinique soutiennent l'idée que la production de la parole dépend des informations sensorielles fournies par la rétroaction auditive, et qu'une privation auditive influence les mécanismes qui régissent la relation entre la perception et la production de la parole.

Des études expérimentales ont également permis de démontrer l'importance de la rétroaction auditive dans le contrôle des articulateurs de la parole. Au cours de celles-ci, le rôle du retour auditif est examiné via diverses manipulations sensorielles. La pertinence de ce paradigme expérimental a été établie il y a bien longtemps lors de travaux s'intéressant à la relation entre le contrôle moteur et les

informations sensorielles. Parmi ceux-ci, on retrouve les travaux de Held (1965) et de Shadmehr et Mussa-Ivadi (1994) démontrant qu'une manipulation du retour visuel via un prisme pouvait engendrer un écart entre le mouvement planifié par le cerveau et celui réellement effectué lorsqu'il était demandé aux participants d'atteindre une cible. La figure 1.3 illustre le biais visuel découlant de l'altération de la rétroaction visuelle par un prisme (a.) et la compensation qu'il est nécessaire d'effectuer afin d'avoir l'impression d'atteindre la cible (b.)

Figure 1.3 Représentation de la compensation sensorielle due à une manipulation du retour visuel via un prisme.



Ces résultats ont aussi été observés lors d'une manipulation de la rétroaction proprioceptive découlant de l'application d'une force externe sur le bras robotisé avec lequel le participant devait atteindre la cible (Shadmehr et Mussa-Ivaldi, 1994). Il est toutefois à noter qu'après quelques essais, les participants ont su prendre en considération la modification sensorielle appliquée et s'y adapter afin d'effectuer la tâche demandée. Cette dernière observation illustre qu'il est possible de mettre à jour les acquis sur lesquels se base le contrôle moteur afin de s'adapter aux différentes situations pouvant provoquer un changement dans la planification et la réalisation des mouvements.

Ce phénomène d'adaptation à une manipulation des informations sensorielles s'observe également en contexte de tâches de production de parole. Cette fois, pour produire la cible acoustique souhaitée, un locuteur doit adapter sa prononciation afin de surmonter les effets de la manipulation appliquée.

1.4.1 Perturbation de la rétroaction auditive

Dans le cas d'une manipulation du retour auditif, l'altération peut résulter d'une obstruction physique, par exemple par l'ajout d'une plaque occlusale, d'un tube labial, d'un palais artificiel et de l'application d'une force externe sur les muscles orofaciaux impliqués dans la production de la parole (Fowler et Turver, 1980; Savariaux et coll., 1995; Turgeon et coll. (2015); Ménard et coll. (à paraître)). Dans ces derniers cas, il s'agit d'une manipulation qui modifie les mécanismes ou les structures de production. Il est aussi possible d'effectuer une manipulation auditive par le biais d'une modification synthétique du retour auditif (Burnett et coll., 1998; Jones et Munhall, 2000; Purcell et Munhall, 2006; MacDonald et coll., 2010). Peu importe le type de manipulation sensorielle employé, on remarque qu'il est possible de s'adapter aux différents contextes de parole en modifiant nos stratégies articulatoires afin que la production émise soit le plus similaire possible à celle planifiée. La section qui suit portera sur les expérimentations de manipulation synthétique du retour auditif, une recension des études marquantes y sera présentée. Ces études seront également résumées au tableau 1.1.

En raison des limitations technologiques, les premières études employant le paradigme de manipulation auditive se sont surtout attardées aux paramètres de volume et de délai, soit en diminuant ou en augmentant le volume des productions vocaliques enregistrées ou encore en manipulant la vitesse à laquelle les productions étaient émises (Villacorta, 2006; Neufeld, 2013). Les auteurs ont noté que les

locuteurs avaient tendance à augmenter l'amplitude de leurs productions lorsqu'ils en recevaient une version où l'intensité était diminuée (Siegel et Pick, 1974) et qu'ils adaptaient le rythme de leurs séquences vocales quand un délai de petite envergure leur était renvoyé (Yates, 1963). Si simples soient-elles, ces études ont démontré qu'un changement du retour auditif engendrait une adaptation comportementale chez le participant, conduisant à l'observation du rôle de la rétroaction auditive dans la planification des mouvements liés à la production de parole.

Tableau 1.1 Recensement d'études de manipulation acoustique de F0, F1 et F2.

Équipe de recherche	Langue observée	Objet de la manipulation	Forme de la manipulation ²	Direction de la manipulation	Degré de la manipulation	Direction de la compensation	Degré de la compensation	Persistence de la compensation	Observations autres
<i>Burnett et coll., 1998</i>	Anglais	F0	1. bloc - avec ou sans bruit/manipulation de l'intensité 2. Manipulation randomisée au cours des productions	1. ↑ 2. ↑/↓	1. 100 cents 2. ± 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300 cents	1. ↓ 2. ↓ et ↑/↑ et ↓	1. 15 cents 2. de 2 à 100 cents	N/A	1. Pas d'effet de bruit ou d'intensité 2. Plus la manipulation est importante, plus les participants "suivent" la direction de la manipulation
<i>Chen et coll., 2007</i>	Anglais (1. Phrase / 2. Voyelle)	F0	1. Bloc 2. Manipulation randomisée au cours des productions	↑ / ↓ / Ø	± 50, 100, et 200 cents	↓ / ↑ / Ø	1. 32 cents 2. 22 cents	N/A	Compensation plus importante et/ou suivant la direction de la manipulation plus souvent répertoriée dans la condition "phrase"
<i>Elman, 1981</i>	Anglais	F0	1. Bloc 2. Manipulation randomisée au cours des productions	1. Ø / ↑ 2. ↑ / ↓	1. 10% 2. ± 20%	1. Ø / ↓ 2. ↓ / ↑	N/A	N/A	Compensation même lorsque les participants réalisaient qu'une manipulation avait lieu

² Une manipulation en bloc, implique un changement abrupt du retour de la rétroaction auditive. En contrepartie, une manipulation en rampe entraîne un changement graduel, permettant ainsi une manipulation plus discrète de la rétraction auditive.

Équipe de recherche	Langue observée	Objet de la manipulation	Forme de la manipulation	Direction de la manipulation	Degré de la manipulation	Direction de la compensation	Degré de la compensation	Persistence de la compensation	Observations autres
<i>Houde et Jordan, 1998</i>	Anglais (parole chuchotée)	F1 et F2 (simultanément)	Rampe - avec ou sans bruit	↑ / ↓	± 2 unités de voyelle (/e/ vers /i/) ou (/e/ vers /a/)	↓ / ↑	Très variable entre les sujets; pas de données moyennes	N/A	Compensation même lorsque réaction auditive réduite par du bruit
<i>Jones et Murrell, 2000</i>	Anglais	F0	Rampe	↑ / ↓ / Ø	± 100 cents	↑	30%	oui	Lorsque comparée à la courbe de la manipulation contrôle: ↑ = + bas/ ↓ = + haut
<i>Jones et Murrell, 2002</i>	Mandarin	F0	1. Bloc 2. Rampe	1. ↑ / Ø 2. ↓ / ↑	1. 1 ST 2. Jusqu'à ± 100 cents	1. ↓ 2. ↑ / ↓	N/A	1. N/A 2. oui	Adaptation sensorielle à la manipulation: Persistence de l'adaptation dans le sens de la manipulation (et non pas dans le sens inverse comme on s'y attendrait)
<i>Liu et coll., 2010</i>	Anglais - 3 groupes d'âge (7-12, 9-21, 60-73)	F0	Interproduction	↓	-100 cents	↑	30 cents / 20 cents / 20 cents	N/A	Effet de l'âge sur le degré de la compensation

Équipe de recherche	Langue observée	Objet de la manipulation	Forme de la manipulation	Direction de la manipulation	Degré de la manipulation	Direction de la compensation	Degré de la compensation	Persistance de la compensation	Observations autres
<i>MacDonald et coll., 2010</i>	Anglais	F1 et F2 (simultanément)	1. Bloc 2. Rampe	↑ (F1) / ↓ (F2)	1. : 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz (F1) / -75Hz, -125 Hz, -250 Hz (F2) 2. : Jusqu'à 350 Hz (F1) / -450 Hz (F2)	↓ (F1) / ↑ (F2)	25 à 30 %	N/A	Pas d'effet de la forme de la manipulation Observation d'un plateau de compensation
<i>MacDonald et coll., 2011</i>	Anglais	1. F1 / F2 2. F1 et F2 (simultanément)	Bloc	1. ↑ / ↓ (F1) / ↑ / ↓ (F2) 2. ↑ (F1) / ↓ (F2)	1. ± 200 (F1) / ± 250 (F2) 2. 200 Hz (F1) / -250 Hz (F2)	1. ↓ / ↑ (F1) / ↓ (F2) 2. ↓ (F1) / ↑ (F2)	1. -50 / 50 (F1) / -30 / 40 (F2) 2. -55 Hz (F1) / 60Hz (F2)	1. non (F1) / oui (F2) 2. N/A	Possibilité de contrôles distincts des formants 1 et 2
<i>Max et coll., 2003</i>	Anglais	1. F0, F1 et F2 (simultanément) 2. F1 et F2 (simultanément) - Enregistrement acoustique et articulatoire	1. Bloc 2. Rampe	↑ / ↓	1. ± 0.2 et 2.0 ST (F0) / ± 1.8 et 4.5 ST (F1 / F2) 2. ± 1.0 ST et ± 2.5 ST / -0.4 ST et - 3.0 ST	1. ↓ (F0) / ↓ / ↑ (F1 / F2) 2. ↑ / ↓	N/A	oui	1. Compensation rapide 2. Compensations articulatoires difficilement reliables aux compensations acoustiques
<i>Mitsuya et coll., 2013</i>	Anglais et Français	F2	Rampe	↓	Jusqu'à -500 Hz	↑	20% (Ang.) / 30% (Fra.)	oui	Effet de langue sur le degré de compensation Compensation de F3 (Fra. seulement)

Équipe de recherche	Langue observée	Objet de la manipulation	Forme de la manipulation	Direction de la manipulation	Degré de la manipulation	Direction de la compensation	Degré de la compensation	Persistence de la compensation	Observations autres
<i>Munhall et coll., 2009</i>	Anglais	F1 et F2 (simultanément)	Bloc	↑ (F1) / ↓ (F2)	200 Hz (F1) / -225 Hz (F2)	↓ (F1) / ↑ (F2)	35% (F1) / 40% (F2)	non	Compensation même si instructions contraires
<i>Neufeld et coll., 2013</i>	Anglais	F2	Rampe	↑ / ↓	Jusqu'à près de F3 / Jusqu'à près de F1 (calculé pour chaque sujet)	↓ / ↑	N/A	N/A	Effets articulatoires (langue et lèvres) Pas de compensation sur /o/ (↓)
<i>Neufeld, 2013</i>	Anglais	F1 et F2 (simultanément) Enregistrement acoustique et articulatoire	Rampe	↓ (F1) / ↑ (F2)	2 x la distance entre /e/ et /æ/ en termes de F1 et de F2 (calculé pour chaque sujet)	Importante variabilité inter-sujets	Importante variabilité inter-sujets	oui, mais importante variabilité inter-sujets	Acoustique: Plus de 50% des participants n'ont que peu ou pas compensé aux manipulations Articulatoire: changements non corrélés aux compensations acoustiques
<i>Purcell et Munhall, 2006a</i>	Anglais	F1	5% des productions (individuelle et isolée)	↑ / ↓	± 135 Hz	↓ / ↑	15 % / 10 %	N/A	Compensation même si manipulation individuelle et isolée

Équipe de recherche	Langue observée	Objet de la manipulation	Forme de la manipulation	Direction de la manipulation	Degré de la manipulation	Direction de la compensation	Degré de la compensation	Persistence de la compensation	Observations autres
<i>Purcell et Muntall, 2006b</i>	Anglais	F1	Rampe	1. ↑ / ↓ 2. ↑	1. Jusqu'à ± 200 Hz 2. Jusqu'à + 200 Hz (Différentes longueurs de phase de maintien)	1. ↓ / ↑ 2. ↓	1. ± 60 Hz 2. -45 à -70 Hz	oui	Pas d'effet de la longueur de la phase de tenue sur le degré de compensation
<i>Villacorta et coll., 2007</i>	Anglais	F1	Rampe	↑ / ↓	± 30%	↓ / ↑	50 % / 35 %	oui	Degré de compensation en lien avec aptitude perceptuelle Effet de la voyelle manipulée sur le degré de compensation
<i>Villacorta, 2006</i>	Anglais	F1	Rampe	↑ / ↓	+ 130% / - 70%	↓ / ↑	15 % / 10 % ??	oui	Degré d'adaptation en lien avec les aptitudes perceptuelles Compensation même lorsque rétroaction auditive réduite par du bruit

Plus récemment, des manipulations de la hauteur de la voix ont également permis d'examiner l'importance de la rétroaction auditive sur la production de la parole. Les auteurs qui s'y sont attardés ont noté que, suite à un changement rapide de la fréquence fondamentale (F0) des voyelles émises, les participants se voyaient adapter leurs productions afin de pallier la manipulation appliquée (Elman, 1981; Burnett et coll., 1998; Jones et Munhall, 2000; Jones et Munhall, 2002; Max et coll., 2003; Chen et coll., 2007; Liu et coll., 2010). De manière générale, les participants adaptaient leurs productions en émettant des voyelles pour lesquelles la F0 était dirigée dans la direction opposée à celle de la manipulation. En plus de cet effet de compensation, Jones et Munhall (2000 et 2002) notent une persistance de l'adaptation alors que les participants maintiennent ou accentuent leurs compensations acoustiques même lorsque toute forme de manipulation auditive est retirée. Tout de même, une importante variabilité inter-sujet est observée dans le phénomène de compensation. Effectivement, Chen et coll. (2007) et Burnett et coll. (1998) démontrent que certains sujets réagissent différemment, soit en demeurant stables dans leurs productions, ou encore en suivant la direction de la manipulation.

Depuis les années 2000, les avancées technologiques ont permis aux chercheurs s'intéressant aux mécanismes de planification de la parole d'approfondir les observations précédemment réalisées. Non seulement la manipulation de la rétroaction auditive est-elle réalisable en temps réel (Villacorta, 2006; Neufeld, 2013), mais les outils scientifiques permettent maintenant d'opérer les procédés d'altérations acoustiques des paramètres segmentaux de la parole.

De ce fait, plusieurs auteurs ont voulu observer si les processus souscrivant le contrôle de certains paramètres suprasegmentaux, tels le volume, le rythme et la hauteur de la voix, sont également impliqués dans la planification des informations formantiques (Houde et Jordan, 1998; Purcell et Munhall, 2006a; Purcell et Munhall,

2006b; MacDonald et coll., 2010). Les recherches qui seront prochainement rapportées font état de manipulations des informations acoustiques des formants 1 et 2. Comme pour les études précédemment recensées, lorsqu'une manipulation est appliquée sur les valeurs de F1 ou de F2, le sujet aura tendance à compenser en émettant une production dans la direction contraire à celle appliquée (Houde et Jordan, 1998; Purcell et Munhall, 2006a; Purcell et Munhall, 2006b; Munhall et coll. 2009; MacDonald et coll., 2010; MacDonald et coll., 2011; Mitsuya et coll., 2013; Max et coll., 2003; Villacorta et coll., 2007). Toutefois, dans quelques rares cas, la compensation peut suivre la direction de la manipulation (Munhall et coll. 2009; MacDonald et coll., 2010) ou encore, être absente (Neufeld, 2013). Au-delà de ce constat général, les auteurs s'entendent aussi sur certaines observations spécifiques quant au phénomène de l'adaptation à une altération du retour auditif.

D'abord, plusieurs ont rapporté que la compensation réalisée n'est pas automatique. Dans leur étude de 2006b, Purcell et Munhall expliquent leurs observations suite à l'application graduelle d'une manipulation de F1. Ils observent que l'adaptation ne survient que lorsque le degré de la manipulation atteint un certain seuil. Ils ont d'ailleurs établi que, pour une manipulation de 200 Hz, le seuil de compensation moyen, en fonction des deux directions de manipulation testées, est de 76 Hz. Les auteurs évoquent toutefois une importante variabilité intersujet. De ce fait, il est nécessaire que le locuteur soit confronté à plusieurs répétitions de suite au cours desquelles il y a une incompatibilité entre le son émis et le son perçu (MacDonald et coll., 2010). Des résultats similaires sont rapportés par Munhall et coll. (2009) et Max et coll. (2003), alors qu'ils indiquent que les premières formes de compensation apparaissent peu avant la dixième production altérée. Neufeld et coll. (2013) observent des résultats similaires suite à des manipulations des valeurs de F1 sur les voyelles [ɛ] et [i] du système phonologique anglophone. Il semblerait donc qu'une

certaine variabilité soit acceptée, au-delà de laquelle un ajustement entre les systèmes de perception et de production s'opèrerait.

De plus, le degré de compensation semble être en lien avec l'ampleur de la modification acoustique reçue. En comparant le degré d'adaptation en fonction du niveau d'altération appliqué, Purcell et Munhall (2006b) ont démontré qu'une compensation plus importante est observée lorsque la manipulation est à un niveau plus élevé. Des résultats similaires ont été observés par MacDonald et coll. (2010) alors qu'ils ont manipulé simultanément, mais à différents degrés, les valeurs de F1 et de F2 des productions émises par les participants. Cette fois-ci, les auteurs démontrent que la relation entre l'amplitude de la manipulation et le degré d'adaptation est linéaire pour les altérations de petites amplitudes seulement, soit de moins de 200 Hz pour F1 et de moins de 250 Hz pour F2. Max et coll. (2003) rapportent des propos similaires alors qu'ils modifient les formants 1 et 2 de productions monosyllabiques de type CVC. Il semblerait d'ailleurs qu'au-delà d'un certain point, l'effet de compensation peut stagner (atteinte d'un plateau) et même diminuer (MacDonald et coll., 2010). En évaluant les aptitudes perceptuelles des participants, Villacorta (2006) et Villacorta et coll. (2007) démontrent une corrélation significative entre l'acuité acoustique et le degré de compensation à une perturbation auditive. Effectivement, les sujets présentant de meilleures habiletés discriminatoires compenseraient davantage suite à une manipulation acoustique de F1. Dans le même ordre d'idées, il s'avère que le seuil à partir duquel un comportement compensatoire apparaît varie en fonction de l'organisation des cibles phonologiques dans l'espace acoustique. Alors qu'ils observent l'ampleur de la compensation en fonction de la langue du participant, Mitsuya et coll. (2013) notent que les sujets francophones compensent davantage à une manipulation où les valeurs de F2 de la voyelle [ε] sont diminuées jusqu'à concurrence de 500 Hz. Les auteurs expliquent que les participants

francophones seraient plus sensibles à cette modification acoustique en raison de la présence d'une cible vocalique supplémentaire dans leur système phonatoire. Ils identifieraient plus rapidement que leurs productions se dirigent vers une voyelle autre, soit le [e]. Cette cible étant absente dans le répertoire anglophone, les participants dont l'anglais est la langue première seraient plus tolérants à ladite manipulation. Finalement, Munhall et coll. (2009) ont observé que cet effet de compensation avait lieu même lorsqu'il était demandé aux participants de ne pas adapter leurs productions, démontrant que ce comportement est involontaire et difficilement contrôlable. Villacorta (2006) a d'ailleurs observé que l'adaptation acoustique était présente même lorsque le retour auditif était masqué par du bruit.

Aussi, plusieurs auteurs démontrent que l'adaptation produite afin de compenser la manipulation acoustique perçue n'est pas complète. Effectivement, peu importe le degré d'altération, les participants ne compensent que partiellement à la perturbation reçue (Purcell et Munhall, 2006a; Purcell et Munhall, 2006b; Munhall et coll., 2009; MacDonald et coll., 2011). MacDonald et coll. (2010) ont comparé deux protocoles expérimentaux afin d'évaluer si ceux-ci pouvaient influencer le degré de la compensation réalisée. Ils ont donc expérimenté une manipulation par blocs (changements acoustiques abrupts) et une manipulation graduelle (changements acoustiques progressifs). Toutefois, la similarité des résultats obtenus permet aux auteurs d'avancer que l'ampleur de la compensation va de pair avec l'importance de l'altération réalisée et non pas avec la forme de cette dernière. Il est intéressant de souligner que, lors de l'expérimentation par blocs, la compensation produite lors du dernier bloc expérimental était proportionnelle à l'ampleur de la manipulation du premier bloc. De ce fait, il aurait été physiologiquement possible, lors de ce premier bloc, de compenser de manière à complètement pallier la modification du retour auditif (MacDonald et coll., 2010). En observant les compensations acoustiques en

réponse à une modification de la voyelle [ɛ] dans une structure syllabique CVC, en contexte de parole chuchotée, Houde et Jordan (1998) soulignent la présence d'une variabilité intersujet. Ils précisent que, bien que certains participants compensent presque totalement, d'autres ne présentent pratiquement pas de changement dans leurs productions et ce, peu importe la direction de la manipulation. Malgré cette importante variation, les compensations moyennes observées correspondent généralement à 25% de la manipulation appliquée (Purcell et Munhall, 2006b; Munhall et coll., 2009; MacDonald et coll., 2010). Effectivement, des modifications acoustiques de +200 Hz et de -200 Hz engendrent, en moyenne, une compensation de 50 Hz dans le sens contraire de la manipulation (MacDonald et coll. 2011). Alors qu'ils manipulent F1 de façon à ce que la voyelle [ɛ] soit perçue [æ] puis [i], Purcell et Munhall (2006a) observent une variabilité de compensation plus importante lorsque les valeurs formantiques sont augmentées. Villacorta et coll. (2007) notent quant à eux qu'un degré de compensation plus grand s'observe lorsque les valeurs formantiques sont augmentées et soulignent aussi qu'une manipulation de F1 peut également engendrer une compensation sur les valeurs de F2. D'autres observent également qu'une altération du retour auditif peut générer un comportement compensatoire, quoique moins important, sur un formant autre que celui pour lequel il y a manipulation; la compensation peut aussi s'opérer sur la hauteur de la voix (Mitsuya et coll. 2013; Villacorta, 2006; Villacorta et coll., 2007).

Les raisons pouvant expliquer que la compensation n'est que partielle sont multiples. Effectivement, il est proposé que la perturbation ne soit pas complètement perçue par le système de contrôle moteur (Purcell et Munhall, 2006a; Purcell and Munhall, 2006b; Villacorta et coll., 2007; Munhall et coll., 2009). Cette explication va de pair avec l'idée que notre modèle de parole accepterait une certaine variabilité au sein des cibles acoustiques perçues (Guenther et Perkell, 2004). De plus, la présence d'autres

voyelles dans l'organisation des cibles phonétiques peut influencer le degré de compensation réalisé (Purcell et Munhall, 2006a; MacDonald et coll. 2010; Mitsuya et coll., 2013; Neufeld, 2013). Il a aussi été invoqué que des limitations physiologiques soient responsables d'une compensation partielle. Toutefois, tel que mentionné plus tôt, MacDonald et coll. (2010) ont su démontrer que même lorsqu'ils en sont capables, les participants ne compensent pas totalement à des manipulations de basses envergures. Les autres systèmes sensoriels pourraient aussi expliquer que les compensations acoustiques soient incomplètes. Par exemple, plusieurs chercheurs avancent qu'un décalage entre la rétroaction acoustique et la rétroaction proprioceptive, soit la perception physique de nos propres mouvements, pourrait être identifié par le participant. Celui-ci pourrait donc se fier davantage à sa rétroaction proprioceptive afin de produire la cible souhaitée (Jones et Munhall, 2000; Purcell et Munhall, 2006b; Munhall et coll. 2009; MacDonald et coll., 2010; Neufeld, 2013).

Finalement, plusieurs auteurs ont remarqué une persistance de l'effet de compensation, même lorsque le retour auditif est remis à la normale. Effectivement, suite au retrait de la manipulation de 200 Hz, Purcell et Munhall (2006b) notent une persistance de la compensation dans les productions, quelle que soit la direction de l'altération. Ils ont d'ailleurs exploré davantage les raisons de cet effet de persistance de l'adaptation et montrent que ce dernier n'est pas influencé par la direction de la manipulation, ni par la durée d'exposition à une rétroaction auditive altérée (Purcell et Munhall, 2006b). Ils ajoutent que cet effet de persistance de l'adaptation peut persister pendant plus de 115 productions. D'autres études présentent toutefois une persistance moins importante, soit observable que lors des quelques répétitions suivant le retour de la rétroaction auditive naturelle (Villacorta et coll. 2007 ; Max et coll. 2003 ; Neufeld, 2013).

Les compensations articulatoires en réponse à un changement acoustique de la rétroaction auditive sont encore peu explorées. Les auteurs qui s'y sont intéressés montrent que les stratégies articulatoires utilisées afin de surmonter une manipulation acoustique sont complexes et demeurent encore incomprises. En effet, même si, globalement, une compensation articulatoire est observée, il ne semble pas y avoir de stratégies claires quant aux différents mouvements réalisés afin de moduler le signal acoustique émis (Max et coll., 2003 ; Neufeld, 2013; Neufeld et coll., 2013) ; ces comportements articulatoires sont même parfois qualifiés d'anticompensatoires (Neufeld, 2013, Neufeld et coll., 2013) . Reste à savoir comment une compensation acoustique peut survenir en dépit d'une adaptation articulatoire correspondante. Neufeld (2013) propose une explication intéressante :

[...]while the formant structure of the vowel may change under feedback perturbation, it is (generally) not the result of any particular articulator assuming the movement patterns of another phoneme, or even a movement pattern 'in between' those of two phonemes. In very real terms, speakers are producing an /ɛ/ that sounds like an /æ/. Because the vocal tract has many degrees of freedom, it may be possible for small shifts at the level of individual articulators to 'add up' to a more considerable change in formant structure. (p.82)

On remarque tout de même certaines similarités entre les compensations observées aux plans acoustique et articulatoire. Effectivement, alors qu'ils suivent les mouvements des lèvres, de la langue et de la mâchoire via un articulographe électromagnétique de deux dimensions, Max et coll. (2003) démontrent qu'une période d'essais composée des premières répétitions est également nécessaire afin qu'une adaptation articulatoire s'opère. Aussi, suite au retrait de l'altération acoustique, une persistance articulatoire de l'adaptation est maintenue pendant une dizaine de répétitions. L'effet de persistance de l'adaptation s'observe donc aussi au niveau articulatoire (Max et coll., 2003 ; Neufeld, 2013).

Globalement, ces observations des domaines acoustiques et articulatoires démontrent que notre modèle des représentations sensorimotrices de parole présente certains degrés de rigidité, mais également de malléabilité. En effet, suite aux manipulations acoustiques apportées, les participants ont généralement su remodeler la relation entre leur système de perception et de production de parole en modifiant leurs gestes articulatoires dans le but d'atteindre les cibles acoustiques souhaitées.

De manière générale, les études s'intéressant à la parole chez les locuteurs non voyants témoignent du lien étroit entre les représentations perceptuelles et les patrons de production. En plus de témoigner de l'importance d'approfondir les connaissances en lien avec les aptitudes perceptuelles et les stratégies articulatoires employées par les locuteurs présentant une déficience visuelle, ces études de perception et de production de la parole supportent l'hypothèse d'une réorganisation cérébrale des aires dédiées à la vision, provoquant ainsi de meilleures aptitudes auditives.

Afin de répondre à notre objectif général, soit de développer nos connaissances quant aux rôles de la rétroaction visuelle sur les habiletés de perception et de production de la parole, le paradigme expérimental de la manipulation de la rétroaction auditive s'avère tout indiqué.

En s'attardant au degré d'adaptation à la manipulation acoustique de chacun des participants, il nous sera possible d'observer si les personnes aveugles congénitales accordent un poids plus important à la perception auditive que leurs pairs voyants. Selon notre hypothèse, l'adaptation devrait être d'autant plus grande que le poids de la perception auditive est important pour un sujet.

Finalement, nous serons en mesure d'examiner si les stratégies articulatoires employées afin de pallier la manipulation du retour auditif sont comparables pour les deux populations étudiées.

CHAPITRE II

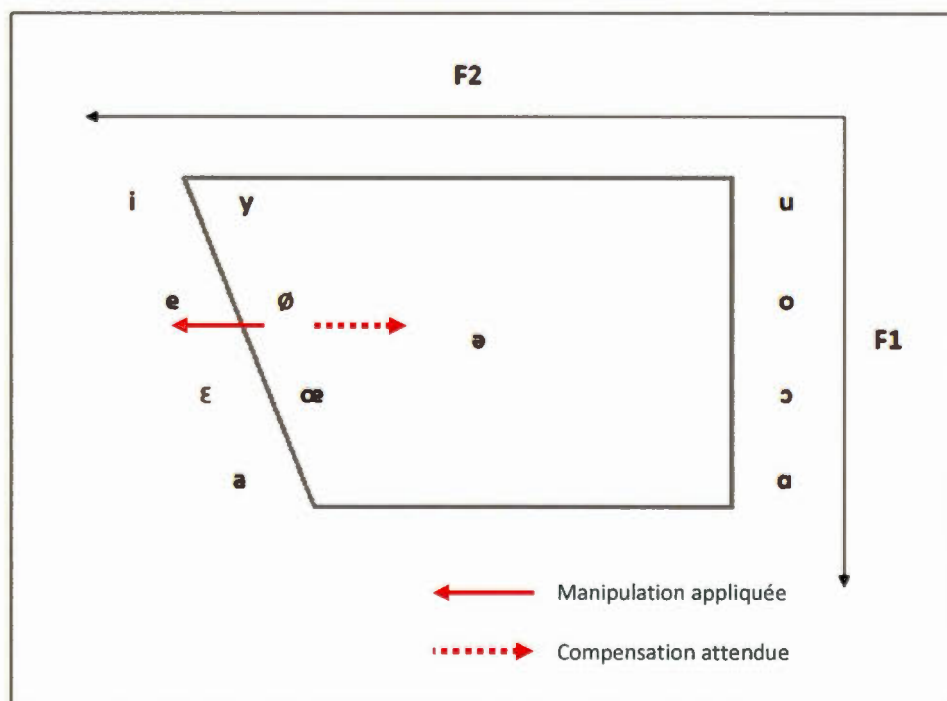
MÉTHODOLOGIE

Afin d'atteindre l'objectif décrit, des enregistrements acoustiques et articulatoires de 11 participants adultes voyants et de 11 participants adultes aveugles congénitaux ont été menés lors de la production de voyelles arrondies du français québécois. Ils ont d'abord eu pour tâche de produire plusieurs répétitions du mot cible «eux» en condition normale, soit non perturbée. Par la suite, dans la condition perturbée, les locuteurs ont reçu comme rétroaction sensorielle, via un casque d'écoute, une version altérée de leur propre parole en temps réel (tel que vu dans Jones et Munhall, 2000, Purcell et Munhall 2006 et Mitsuya et coll. 2013).

Les participants ont dû produire 130 répétitions de la cible «eux». Tel que proposé par Mitsuya et coll. (2013) la procédure de manipulation de la rétroaction auditive s'est effectuée en quatre blocs distincts (Base, Rampe, Tenue et Fin) au cours desquels la manipulation formantique des valeurs de F2 des productions émises a été graduellement augmentée de 50Hz, jusqu'à un maximum de 500Hz. De ce fait, la plupart du temps, la production entendue était différente de celle produite.

Effectivement, au moment de l'augmentation maximale de la valeur de F2 des productions (représentant une augmentation de 500Hz), la cible «eux» [ø] était plutôt perçue «et» [e]. Cette manipulation est présentée à la figure 2.1. Conformément à nos hypothèses, afin de répondre à cette perturbation et d'entendre ce qu'il souhaitait produire, le participant devait donc compenser sa production en adaptant sa prononciation (Jones et Munhall, 2000 et Mitsuya et coll., 2013).

Figure 2.1 Représentation de l'effet de la manipulation acoustique de F2 dans le trapèze vocalique.



Dans le but de procéder aux différents types d'analyses, plusieurs mesures, tant acoustiques qu'articulatoires, ont été relevées. Finalement, afin d'évaluer si (1) les personnes aveugles congénitales accordent, de manière significative, un poids plus

important à la perception auditive que leurs pairs voyants et (2) d'observer si les stratégies articulatoires pour y parvenir sont comparables, des ANOVAs à mesures répétées, des T de Student et des corrélations de Pearson ont été menés.

2.1 Participants

Les onze participants non voyants ont été recrutés à partir de la base de données du laboratoire de phonétique de l'Université du Québec à Montréal. Effectivement, comme différentes études s'attardant à la perception et à la production de la parole y ont lieu, une liste de participants volontaires a été mise à profit afin de recruter l'ensemble des sujets présentant une cécité. Pour pouvoir participer à l'étude décrite, les sujets devaient présenter une cécité complète et congénitale, classée 3, 4 ou 5 dans la classification internationale des maladies de l'Organisation mondiale de la santé, soit être dans l'impossibilité de percevoir ni mouvements, ni lumière.

Une fois les enregistrements des sujets non voyants terminés, des personnes à développement typique ont été recrutées. Les participants formant le groupe contrôle présentaient tous une vision parfaite (20/20) ou avait une vision défailante corrigée par des lentilles. Ceux-ci ont été appariés du mieux possible aux participants aveugles en fonction de leur âge et de leur sexe. De ce fait le groupe de participants aveugles est formé de 7 hommes et de 4 femmes et sont âgés entre 23 et 63 ans, pour une moyenne de 41,6 ans alors que le groupe contrôle est constitué de 6 hommes et de 5 femmes et sont âgés entre 32 et 61 ans, moyennant 43,3 ans d'âge. Afin de s'assurer de l'acuité auditive de tous les participants, leurs seuils auditifs ont été évalués par une audiologiste à l'aide d'une méthode adaptative, via des écouteurs. Les fréquences ayant été testées sont les suivantes : 250, 500, 1000, 2000 et 4000 Hz. Chacun des participants présentait un seuil de détection de 25 dB HL, valeurs correspondant à une

audition normale. Finalement, tous les participants étaient locuteurs natifs du français québécois vivant dans la grande région de Montréal ne souffrant d'aucun trouble de la parole ou de l'audition connu. Les détails quant à l'âge et au sexe de chacun des participants sont présentés au tableau 2.1

Tableau 2.1 Informations quant à l'ensemble des participants de l'étude

Groupe aveugle				Groupe contrôle		
Sujet	Sexe	Âge	Cause de la cécité et apparition	Sujet	Sexe	Âge
A1	M	23	Décollements rétinaux (1 semaine) ³	C1	F	32
A2	M	27	Rétinoblastome (9 mois)	C2	F	33
A3	F	59	N/A	C3	F	49
A4	M	25	(Congénitale) Microphthalmie	C4	F	61
A5	M	63	(congénitale) Cataractes	C5	M	37
A6	F	60	(congénitale) Décollements rétinaux	C6	F	41
A7	M	28	(congénitale) Amaurose de Leber	C7	M	58
A8	F	32	(congénitale) Rétinoblastome	C8	M	32
A9	M	45	(congénitale) Amaurose de Leber	C9	M	40
A10	F	50	(congénitale) Décollements rétinaux	C10	M	50
Moyenne		41,20		Moyenne		43,30

³ Les sujets A1 et A2, bien qu'aveugles non congénitaux, ont pu participer à l'étude puisque leur cécité est apparue avant l'âge d'un an, soit avant l'apparition des premiers mots.

2.2 Corpus et protocole expérimental

2.2.1 Corpus

Le corpus était composé de 130 répétitions de la cible [ø]. Comme nous nous intéressons particulièrement aux stratégies articulatoires employées par des locuteurs voyants et non voyants, nous tenions à favoriser la production d'une cible phonémique nécessitant un arrondissement des lèvres. Aussi, afin d'observer la relation entre la rétroaction visuelle et la perception de la parole, ils nous importait de travailler avec une cible pour laquelle l'application de la manipulation acoustique allait engendrer une production vocalique visible, soit la rétraction des lèvres vers le [e]. De ce fait, pour répondre à la modification de la rétroaction auditive appliquée, il nous était possible de forcer l'utilisation de certaines stratégies articulatoires. À l'aide du programme Growth (Boë, 1999, décrit dans Ménard, 2002), il a été possible d'identifier les différentes stratégies articulatoires permettant de passer de la production d'un [e] à celle d'un [ø]. Le logiciel Growth permet de manipuler 7 articulateurs de la parole et ainsi de simuler le résultat acoustique qui en découlerait. Les positions de ces 7 articulateurs pour les productions [e] et [ø] sont représentées dans le haut du tableau 2.2. Les valeurs des formants 1 à 5 associées y sont aussi indiquées. Sous ceux-ci sont notées les différentes stratégies permettant de produire la cible [ø] à partir de la cible [e]. Les valeurs formantiques découlant de ces manipulations articulatoires permettent de confirmer que le résultat acoustique correspond aux formants de la voyelle [ø]. Selon l'articulateur, une valeur ayant augmenté signifie une position plus avant, plus ouverte ou plus haute alors qu'une valeur ayant diminué désigne un lieu plus arrière, plus fermé ou plus bas.

Tableau 2.2 Position des articulateurs visibles et non visibles de la parole pour la production des voyelles [e] et [ø].

VOYELLE	ARTICULATEURS							FORMANTS				
	Lèvres		Mâchoire	Langue				F1	F2	F3	F4	F5
	Protrusion	Ouverture		Corps	Dos	Apex	Larynx					
e	-1.78	0.14	-0.96	-1.49	0.80	-1.40	0.58	364	1922	2509	3548	4154
ø	1.37	0.51	-1.57	-1.39	1,78	-2.94	-1.17	371	1609	2069	3008	3817
1. ø	-1.78	0.14	-0.96	-1.49	1.39	-4.00	0.58	372	1609	2192	3474	3898
2. ø	-1.78	0.14	-0.96	-0.40	2.13	-1.40	-2.00	368	1601	1990	2886	3839
3. ø	3.00	-0.13	-0.96	-1.07	0.80	-1.40	0.58	370	1613	2209	3460	3999
4. ø	-1.78	0.14	-0.96	-0.36	2.26	-1.40	0.58	371	1609	2157	3559	3951
5. ø	3.00	0.14	-0.96	-1.49	0.80	-2.88	0.58	367	1609	2200	3477	4019

On remarque donc que pour passer de la production d'un [e] à celle d'un [ø], il est possible :

1. De monter et d'avancer le dos de la langue et d'abaisser et de reculer l'apex de la langue;
2. D'avancer le corps de la langue, de monter et d'avancer le dos de la langue et d'abaisser le larynx;
3. De protruer les lèvres et d'en réduire l'ouverture et d'avancer le corps de la langue;
4. D'avancer le corps de la langue, de monter et d'avancer le dos de la langue;
5. De protruer les lèvres et d'abaisser et de reculer l'apex de la langue.

2.2.2 Protocole expérimental

Chacun des participants a d'abord dû répondre à un court questionnaire nous permettant de nous assurer qu'il ne présentait aucune condition l'empêchant de poursuivre l'expérimentation (hypersensibilité aux champs électromagnétiques, port d'une prothèse dentaire, ...). De plus, considérant la structure physique de l'articulographe et du fait qu'il est demandé aux participants de demeurer stables dans

un espace restreint, mais ouvert, il nous fallait connaître l'état claustrophobique potentiel du sujet. Finalement, la tête du capteur étant recouverte de latex, un test d'allergie au latex a aussi été effectué.

2.2.2.1 Tâche de perception

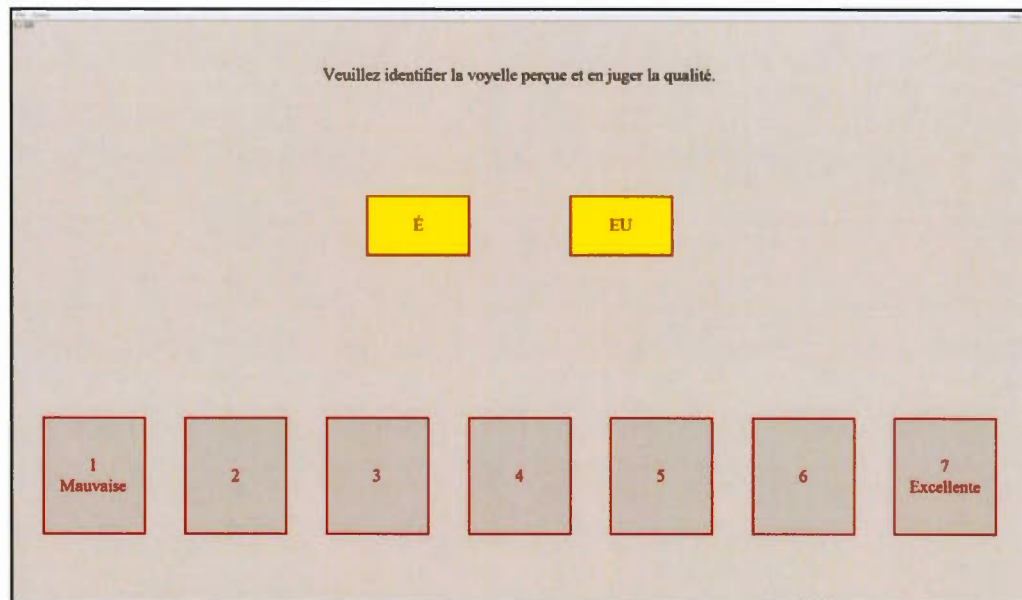
Préalablement à la tâche de production, les participants devaient se soumettre à un test de perception auditive. La tâche était d'identifier la voyelle perçue en plus d'en évaluer la qualité. Les participants ont pu répondre au test via le logiciel Praat (version 5.3.80). Le test était composé de 120 stimuli, soit de dix répétitions de douze stimuli différents, tous tirés d'un continuum des voyelles synthétiques [e] et [ø], présentés aléatoirement. La création du continuum a été effectuée via le logiciel Growth décrit précédemment. La manipulation s'est principalement effectuée sur le formant 2. Une légère manipulation a été réalisée sur les formants 3 et 4. Les formants 1 et 5 et les bandes 1 à 5 sont demeurés inchangés. Les détails des stimuli composant le continuum sont présentés au tableau 2.3.

Tableau 2.3 Valeurs formantiques et largeurs de bandes des stimuli composant le test perceptuel

	FORMANTS					LARGEURS DE BANDES				
	F1	F2	F3	F4	F5	B1	B2	B3	B4	B5
e-eu_1	364	1922	2509	3550	4000	48	55	60	50	100
e-eu_2	364	1892	2469	3500	4000	48	55	60	50	100
e-eu_3	364	1862	2429	3450	4000	48	55	60	50	100
e-eu_4	364	1832	2389	3400	4000	48	55	60	50	100
e-eu_5	364	1802	2349	3350	4000	48	55	60	50	100
e-eu_6	364	1772	2309	3300	4000	48	55	60	50	100
e-eu_7	364	1742	2269	3250	4000	48	55	60	50	100
e-eu_8	364	1712	2229	3200	4000	48	55	60	50	100
e-eu_9	364	1682	2189	3150	4000	48	55	60	50	100
e-eu_10	364	1652	2149	3100	4000	48	55	60	50	100
e-eu_11	364	1622	2109	3050	4000	48	55	60	50	100
e-eu_12	364	1592	2069	3000	4000	48	55	60	50	100

Afin d'indiquer leurs choix, les sujets devaient cliquer sur la voyelle qui correspondait le plus à celle qu'ils avaient perçue. Pour ce faire, un choix des voyelles [e] et [ø] leur était proposé. Par la suite, ils devaient indiquer la qualité de la voyelle choisie sur une échelle de 1 à 7, représentant respectivement une qualité de «Mauvaise» à «Excellente». La figure 2.2 présente un aperçu de l'affichage du test. Comme les sujets aveugles ne pouvaient répondre au test par eux-mêmes, c'est l'expérimentatrice principale qui contrôlait la souris de l'ordinateur. Les participants n'avaient donc qu'à indiquer leurs choix à l'oral. Nous avons procédé ainsi avec tous les participants. Le même protocole expérimental était donc suivi par l'ensemble des participants. Le test de perception était d'une durée totale d'environ 10 minutes.

Figure 2.2 Aperçu de l’affichage du test de perception



2.2.2.2 Tâche de production

Comme les répétitions devaient être produites avec une courte pause entre chacune d’elles, les participants devaient attendre le signal de l’expérimentatrice avant d’émettre chacune des productions. L’un des groupes à l’étude étant composé d’aveugles congénitaux, nous nous sommes vus dans l’impossibilité de fonctionner avec un corpus visuel. Pour pallier cette difficulté, les fenêtres de temps dans lesquelles chacune des productions devait être émise étaient indiquées par l’expérimentatrice principale, via un léger toucher sur l’épaule. Encore une fois, nous avons procédé de cette manière pour tous les participants, nous assurant ainsi une homogénéité dans notre protocole expérimental.

2.2.3 Conditions expérimentales

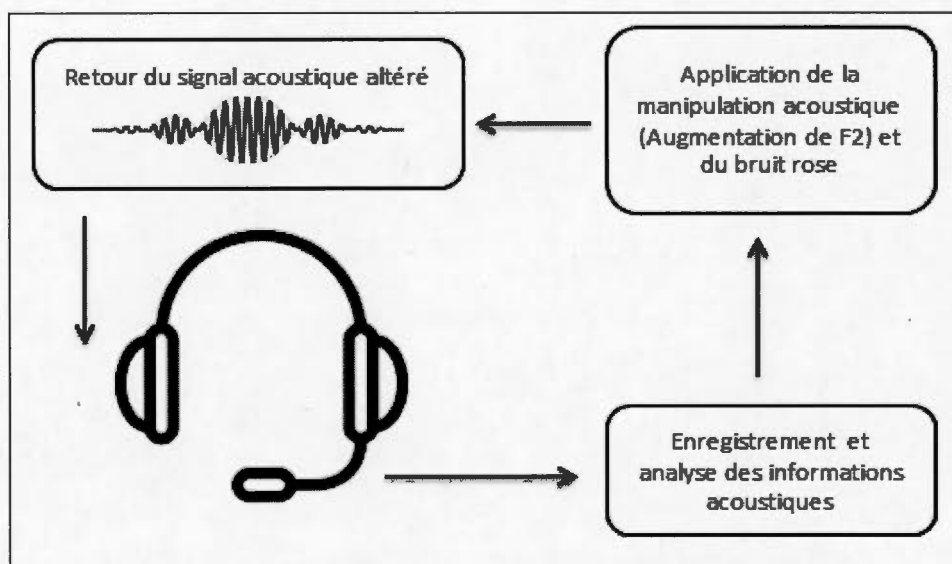
La détection et la manipulation de la rétroaction auditive ont été possibles via le matériel et logiciel LabView (NI PXIe-1071) développés par le National Instruments.

La parole étant variable d'une personne à l'autre, une première étape comprenant 42 répétitions de la cible «eux» a permis de déterminer certains paramètres essentiels au bon déroulement de la manipulation de la rétroaction auditive. Effectivement, afin que la détection et la manipulation de la F2 soient efficaces, il a d'abord été nécessaire de déterminer, pour chacun des participants, le nombre de coefficients qui sera utilisé dans l'analyse autorégressive. Également enregistrée sous LabView, cette étape permettait l'analyse de l'ensemble des 42 répétitions sous différents modèles comprenant respectivement de 8 à 12 coefficients. Le système proposait ensuite le modèle de manipulation correspondant le mieux aux paramètres de la voix de chacun des participants. Cette étape était présentée comme une phase de familiarisation.

Au cours de l'expérimentation, le signal du micro a d'abord été amplifié et filtré à une fréquence de 4500Hz. Les valeurs de F2 de chacune des voyelles émises ont ensuite été identifiées via l'algorithme de Burg, celui-ci utilisant le modèle préalablement associé à chacun des sujets. Une fois le filtre de manipulation appliqué, le signal altéré était retourné au participant via des écouteurs intraauriculaires. À chaque 900 μ s, une nouvelle estimation de fréquence de formants et un nouveau filtre de coefficients étaient réalisés. En plus de la manipulation acoustique, l'application d'un bruit rose de 50 dB a également été ajouté afin limiter le plus possible un retour de la rétroaction auditive naturelle. Le nouveau signal acoustique a ensuite été retourné au participant dans un court délai de 16 ms, soit un délai inférieur à 30ms à partir duquel un locuteur est en mesure de reconnaître que le retour auditif est trafiqué. Une

représentation simplifiée de la configuration expérimentale est présentée à la figure 2.3.

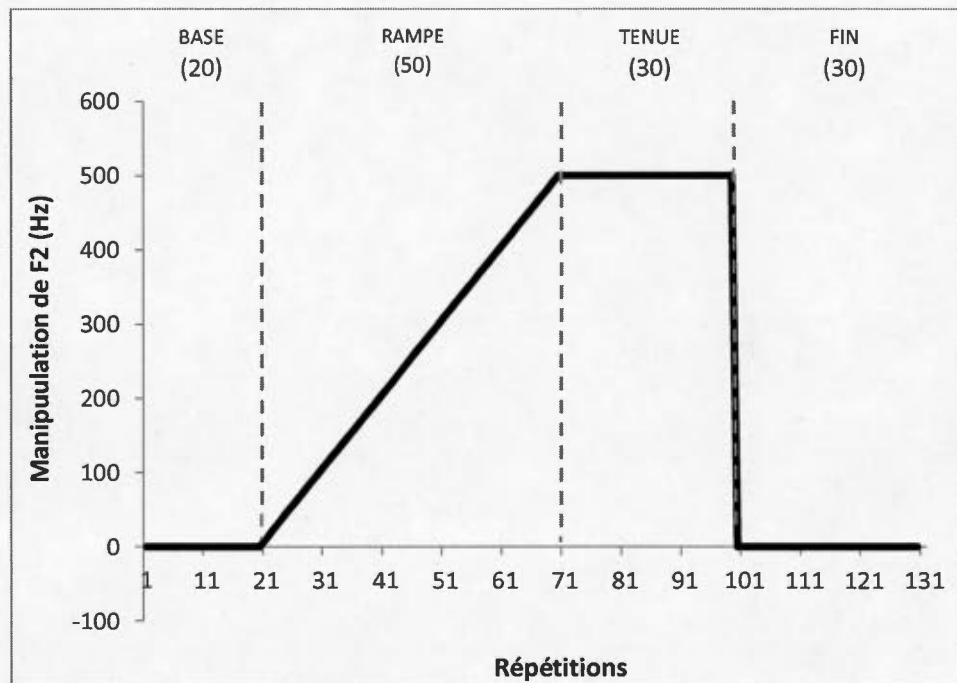
Figure 2.3 Représentation simplifiée de la configuration expérimentale de la manipulation acoustique (Adapté de Jones et Munhall, 2000)



Dans un premier temps, soit pour le premier bloc de l'expérimentation (Base), aucune altération n'a été faite; les sujets ont donc reçu, pour les 20 premières répétitions, une rétroaction auditive intacte. Dans un deuxième temps, pour les 50 répétitions suivantes (Rampe), une augmentation de la valeur de F2 a graduellement été appliquée. L'augmentation appliquée était toujours de 10Hz, résultant alors en une altération maximale de 500Hz. Pour la troisième phase (Tenue), comprenant 30 répétitions, la manipulation maximale était simplement maintenue. Finalement, pour le dernier bloc de 30 répétitions (Fin), toute forme de modification du retour auditif a été retirée; les participants ont donc de nouveau reçu une rétroaction auditive correspondant parfaitement à leurs productions. L'expérimentation totale était donc constituée d'une série de 130 productions de la cible acoustique [ø], celle-ci leur étant

présentée sous la forme lexicale «eux». Les quatre blocs d'expérimentation sont présentés à la figure 2.4.

Figure 2.4 Représentation des blocs expérimentaux et du degré d'altération de F2 (Hz) en fonction de la répétition



2.3 Procédures d'enregistrement

Les enregistrements se sont déroulés dans la chambre sourde du laboratoire de phonétique de l'UQAM. Afin de s'assurer du bon déroulement des expérimentations, trois expérimentatrices étaient présentes. L'une d'entre elles restait auprès du sujet alors que les deux autres s'assuraient que les paramètres d'enregistrement des informations acoustiques et articulatoires souhaités soient contrôlés.

2.3.1 Instrumentation

La prise de mesures articulatoires a été effectuée via un articulographe électromagnétique (EMA AG500), disponible au Laboratoire de phonétique de l'UQAM (Voir figure 2.5). Cet appareil est spécialement dédié à l'obtention d'informations articulatoires liées à la production de la parole. La pertinence de l'utilisation de cet instrument réside dans le fait qu'il permet, via de petits capteurs, l'enregistrement de positions tridimensionnelles dans l'espace des articulateurs visibles de la parole, telles les lèvres et la mâchoire et non visibles, comme la langue. Cette méthode s'avère donc un choix judicieux pour analyser de façon rigoureuse les différentes stratégies articulatoires utilisées par les locuteurs voyants et non voyants lors de tâches de production de la parole. Les positions (X: avant/arrière, Y: gauche/droite et Z: haut/bas) des senseurs ainsi que leurs orientations (Phi: azimuth et Theta: élévation) ont été recueillies via le logiciel de contrôle de l'EMA (version Linux). Ces différentes dimensions sont calculées à partir de la fréquence et de l'intensité des champs électromagnétiques émis par chacune des six bobines magnétiques intégrées à l'articulographe. L'amplitude des six champs électromagnétiques est enregistrée par chacun des 10 capteurs utilisés. De ce fait, la valeur de l'amplitude de chacun des capteurs varie en fonction de leurs positions et orientation par rapport aux bobines.

En plus de l'expérimentation principale, une pose de référence a aussi été enregistrée; il s'agit d'un enregistrement de quelques secondes au cours duquel le participant demeure immobile. Cette pose statique permet d'identifier la position neutre de chacun des senseurs et sera utilisée afin de corriger tout mouvement non parolié.

L'analyse de la position et de l'orientation des senseurs utilisés s'est effectuée à l'aide d'une procédure MatLab développée par Mr Mark Tiede (Haskins Laboratory). Cette

procédure utilise la pose statique de chacun des participants afin d'aligner les capteurs cibles à un capteur de référence stable, qui servira de point zéro (ici, gencive supérieure centre). Ce capteur est ensuite mis à zéro pour chacun des sujets et pour chacune des poses expérimentales. Ensuite, une rotation de la position de l'ensemble des capteurs est effectuée afin que les capteurs des mastoïdes soient à la même hauteur que celle du capteur de la gencive supérieure centre. Ainsi, la comparaison des déplacements des capteurs entre chacun des sujets est possible.

Un total de dix capteurs a été utilisé pour la collecte des données articulatoires. Six d'entre eux servaient à l'analyse des articulateurs de la parole, les quatre autres servant plutôt de points de référence nécessaires aux procédures de correction des mouvements de tête pouvant avoir eu lieu au cours de l'enregistrement. Les capteurs ont été posés sur les participants à l'aide d'une colle spécialisée de marque Vyano Veener, employée en dentisterie, ne présentant aucun danger pour les sujets. Deux des expérimentatrices assuraient la pose des capteurs. La figure 2.5 illustre l'emplacement de chacun des capteurs utilisés.

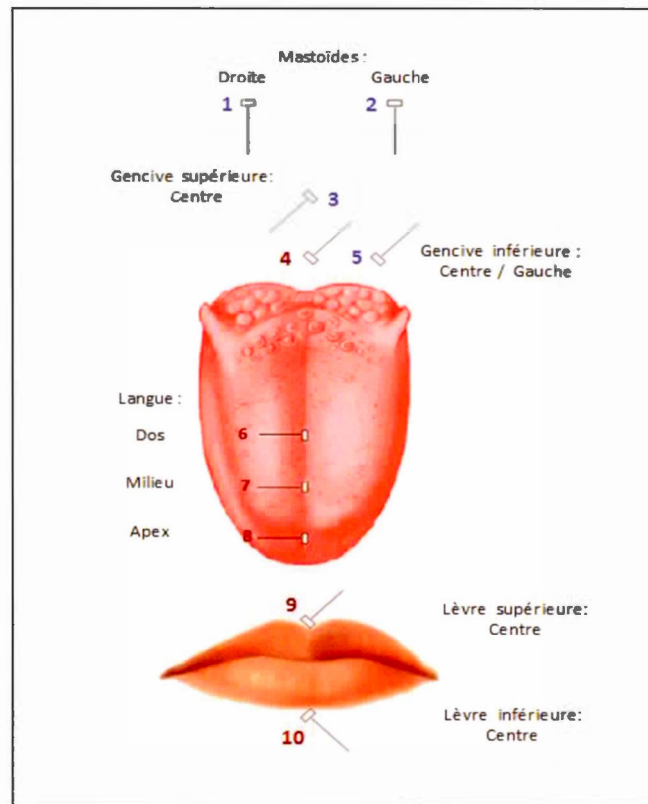
À la suite de chacun des enregistrements, l'ensemble des capteurs a été désinfecté au Biomers, un produit antiseptique qui élimine jusqu'à 99 % des virus, germes et bactéries, et ce, à deux reprises. Finalement, afin d'assurer l'atteinte des normes d'hygiène maximales, une fine couche de latex était apposée sur la tête des capteurs avant chaque enregistrement. Il s'agit de procédures qui ont été approuvées par le comité d'éthique de l'UQAM et comparable à celles mises en place dans d'autres laboratoires employant un articulographe.

Figure 2.5 Représentation des dimensions X, Y et Z de l'articulographe électromagnétique (AG500) du laboratoire de phonétique de l'UQAM



Toujours à la figure 2.6, les senseurs de référence, indiqués par une numérotation de couleur bleue, ont été placés sur les mastoïdes gauche et droite, sur la gencive supérieure centrale et sur la gencive inférieure gauche. En rouge sont les capteurs qui seront soumis à l'analyse. Ils ont été apposés au centre de la lèvre inférieure et supérieure (à la limite de la peau), sur le dos, la lame et l'apex de la langue et, représentant la mâchoire, sur la gencive inférieure centrale.

Figure 2.6 Disposition de l'ensemble des capteurs utilisés lors des enregistrements articulatoires



Avant chacun des enregistrements, une calibration des capteurs a été effectuée à l'aide du logiciel CalPos (Version Linux) et de l'articulographe (AG500). Cette opération permet de s'assurer que tous les capteurs utilisés sont fonctionnels et qu'ils fourniront un suivi juste et uniforme du mouvement des articulateurs ciblés au cours de l'expérimentation, sans être influencés par des distorsions des champs électromagnétiques. Dans le but d'éliminer le plus possible les facteurs discordants, l'articulographe a été placé à au moins 1,5 mètre des murs. Aussi, tout appareil électronique ou magnétique n'étant pas nécessaire à la collecte de données a été déplacé à l'extérieur de la chambre sourde. Dans le même ordre d'idée, ceux étant

utilisés lors des enregistrements étant également présents pour la phase de calibration. Une série de mouvements des senseurs a été effectuée afin de vérifier que ceux-ci étaient fonctionnels et correctement calibrés.

2.4 Analyse des données

La section qui suit démontre les diverses procédures d'analyses qui ont permis de traiter les données perceptuelles, acoustiques et articulatoires.

2.4.1 Analyse des données perceptuelles

Les résultats du test perceptuel ont permis d'évaluer l'acuité perceptive auditive de chacun des participants de l'étude. Effectivement, les sujets ont dû identifier chacun des 120 stimuli entendus. En fonction des réponses obtenues, il a été possible d'évaluer à partir de quel point du continuum [e] / [ø] chacun des sujets semblait percevoir un changement de cible vocalique, nous permettant donc d'identifier : d'une part, le point référant à la frontière catégorielle sur les valeurs de F2 et, d'autre part, la robustesse de cette frontière. Ces données perceptuelles seront mises en lien avec les résultats acoustiques; à savoir si l'acuité perceptive permet de prévoir le degré d'adaptation en réponse à une manipulation de la rétroaction auditive.

2.4.2 Analyse des données acoustiques

Tel que mentionné ci-haut, les informations acoustiques qui seront prochainement discutées ont été enregistrées à l'aide d'un micro-casque unidirectionnel, le gain de l'amplificateur étant ajusté avant chaque enregistrement.

Suite à un découpage des 130 productions de la cible [ø], les fréquences des formants 1 (F1), 2 (F2) et 3 (F3) ont été extraites à l'aide d'un script d'extraction créé spécialement pour le laboratoire de phonétique de l'UQAM. Ce script permet, via le logiciel Praat⁴ (version 5.3.80), d'obtenir les informations segmentales et suprasegmentales du point central de chacune des productions émises. De ce fait, ce ne sont que les fréquences correspondant au point milieu des productions vocaliques qui ont été retenues, permettant ainsi d'obtenir les données les moins influencées par les productions précédentes et suivantes (Nguyen & Espesser, 2004; Ménard et al., 2007).

Rappelons que l'expérimentation était constituée de 130 répétitions de la cible [ø], et que ces productions étaient divisées en quatre phases distinctes. Lors de la phase Base, soit lors des 20 premières répétitions, les participants avaient une rétroaction auditive correspondant parfaitement à leurs productions. Lors de la phase de Rampe, constituée des 50 répétitions suivantes, une augmentation graduelle de F2 a été appliquée. À partir de la 71^e répétition, la manipulation maximum a été maintenue, il s'agissait de la phase de Tenue. Finalement, la phase Fin était constituée de 30 répétitions au cours desquelles toute forme de modification auditive a été supprimée.

⁴ Praat est un système conçu à l'Institut de Sciences phonétiques de l'Université d'Amsterdam permettant la manipulation, le traitement et la synthèse de sons vocaux (Boersma et Weenink, 2007).

Pour procéder à nos analyses, les données moyennes de chacun des formants à l'étude (F1 / F2 / F3) de la phase Base ont d'abord servi à identifier les valeurs acoustiques neutres correspondant à la cible [ø] et ce, pour chacun des participants. Tel que vu dans Jones et Munhall (2000), Purcell et Munhall (2006) et Mitsuya et coll. (2013), uniquement les quinze dernières répétitions de la phase BASE ont été considérées, les cinq premières productions présentant souvent une importante variation.

Afin d'être en mesure d'observer l'adaptation acoustique suite à une manipulation de la rétroaction auditive en contexte de parole, nous avons calculé le quotient des valeurs de chacune des 110 dernières répétitions sur celles des valeurs moyennes de la phase Base. Afin d'éliminer les données aberrantes, sans toutefois écarter les variations dues à l'augmentation de la manipulation acoustique, nous avons divisé les 130 productions en 13 sections de 10 répétitions. Nous avons ensuite supprimé toutes les valeurs étant supérieures ou inférieures à plus ou moins deux écarts types de la moyenne de chacune des sections. Il nous est donc possible d'observer, via les ratios des valeurs formantiques de F1, de F2 et de F3 et de leur base respective, les différents degrés d'adaptation acoustique en regard du niveau de la manipulation auditive appliquée. Des ANOVAS à mesures répétées portant sur chacun des formants (variables dépendantes) en incluant le groupe (contrôle et aveugle) comme facteur inter-sujet et la condition (Base, Tenue et Fin) comme facteur intra-sujet ont été menées via le logiciel SPSS.

2.4.3 Analyse des données articulatoires

Comme pour les données acoustiques, les valeurs articulatoires des productions ont été examinées à leur point milieu. Tel que mentionné plus tôt, les distances

euclidiennes (déplacements) en trois dimensions des capteurs des lèvres supérieures et inférieures, du dos et de l'apex de la langue et de la mâchoire entre chacune des conditions seront discutées. Une fois la correction des mouvements de tête effectuée, les coordonnées de chacun des senseurs, dans le temps, ont été extraites via une procédure MatLab conçue par Mr Mark Tiede (Haskin Laboratories).

Les déplacements correspondent à la distance euclidienne et ont été calculés avec la formule suivante :

$$\text{Déplacements } 3D = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

Les points x_2 et x_1 , y_2 et y_1 et z_2 et z_1 référant aux deux points des axes horizontal (x), latéral (y) et vertical (z) pour lesquels on souhaite calculer la distance.

Encore une fois, ce sont les valeurs moyennes des quinze dernières productions de la phase Base de chacun des capteurs utilisés qui ont permis d'évaluer les valeurs articulatoires originelles, soit celles relatant les positions neutres des articulateurs correspondants.

Afin de comparer les stratégies articulatoires utilisées pour pallier la manipulation acoustique apportée, nous avons donc précédé au calcul de la différence entre les valeurs des productions 21 et des suivantes à celles des valeurs moyennes de la phase Base. Tout comme pour les analyses des valeurs acoustiques, nous avons divisé les 130 productions en 13 sections de 10 répétitions. Toutes les valeurs étant supérieures ou inférieures à plus ou moins deux écarts types de la moyenne de chacune des sections ont ensuite été supprimées. Les données des positions des capteurs étant beaucoup plus variables que celles des valeurs formantiques, toutes données consécutives présentant un écart de plus de 5 millimètres ont également été éliminées. Ainsi, via ces différences, il nous est possible d'observer, pour chacun des points

d'articulation à l'étude, les différentes stratégies articulatoires employées. Encore une fois, des ANOVAs à mesures répétées ont été menées sur les déplacements articulatoires (variables dépendantes) en incluant le groupe (variable inter-sujet) et la condition expérimentale (variable intra-sujet).

2.4.4 Analyse de la relation entre les résultats perceptuels et acoustiques

Nous avons également cherché à établir un lien entre les aptitudes perceptuelles des participants et leur degré de compensation à la manipulation acoustique. Pour ce faire, nous avons effectué différentes corrélations de Pearson mettant en relation un score perceptuel et le degré de compensation de F2 de la phase de Tenue. Les différentes variables employées en tant que score perceptuel, dans ces corrélations, seront détaillées dans la partie suivante.

2.4.5 Analyse de la relation entre les résultats acoustiques et articulatoires

Finalement, nous avons voulu observer le rapport entre le degré d'adaptation acoustique et l'importance du déplacement articulatoire, pour les phases de tenue et de fin. De ce fait, nous avons procédé à la différence entre les valeurs de F2 de la phase de fin et celles de la phase de Tenue et à la différence entre les distances euclidiennes de ces deux mêmes phases, pour chacun des capteurs analysés. Nous avons donc effectué, pour chacun des participants, des corrélations de Pearson mettant en relation les différences acoustiques et les différences articulatoires des quatre articulateurs observée, soit la lèvre supérieure, la lèvre inférieure, l'apex de la langue et le dos de la langue.

Les différents calculs statistiques précédemment introduits seront présentés au chapitre suivant. Afin d'en faciliter la lecture et la compréhension, un retour sur les objectifs de recherches précis, en lien avec chacune des analyses effectuées, sera d'abord introduit.

CHAPITRE III

RÉSULTATS

La section qui suit présentera les résultats de l'ensemble des expérimentations effectuées au cours de l'étude. Dans un premier temps, les résultats du test de perception seront décrits. Ceux-ci permettront d'identifier les aptitudes perceptuelles de chacun des deux groupes à l'étude. Par la suite, les résultats de la tâche de production seront abordés. Nous présenterons d'abord ces derniers sur le plan acoustique, puis sur le plan articulatoire. Finalement, nous tenterons d'établir un lien entre, d'une part, les aptitudes perceptuelles et le degré d'adaptation acoustique de F2, et, d'autre part, le degré de compensation acoustique de F2 et les déplacements articulatoires.

3.1 Tâche de perception

3.1.1 Seuil d'identification

Dans le but de déterminer les habiletés perceptuelles des participants rencontrés, nous avons procédé à l'analyse du test d'identification perceptuelle. Afin de rendre compte de la répartition d'identification de [ø] par rapport à [e], nous avons récolté pour chacun des 12 stimuli du continuum les taux moyens par sujets d'identification en [ø]. Pour ces taux d'identification, une ANOVA à mesures répétées a été effectuée. Pour cette dernière, les valeurs de F2 des 12 stimuli présentés servaient de variables dépendantes. Les deux groupes à l'étude servaient de variable indépendante inter-sujet. Cette relation entre l'identification en [ø] et la valeur de F2 des stimuli est présentée à la figure 3.1. Il est à noter que parmi l'ensemble des locuteurs, 4 locuteurs du groupe contrôle et 1 locuteur du groupe aveugle ont dû être exclus, puisque leurs taux d'identification ne franchissaient pas le seuil du 50%, seuil requis pour que les réponses correspondent à une véritable courbe psychométrique d'identification perceptuelle.⁵

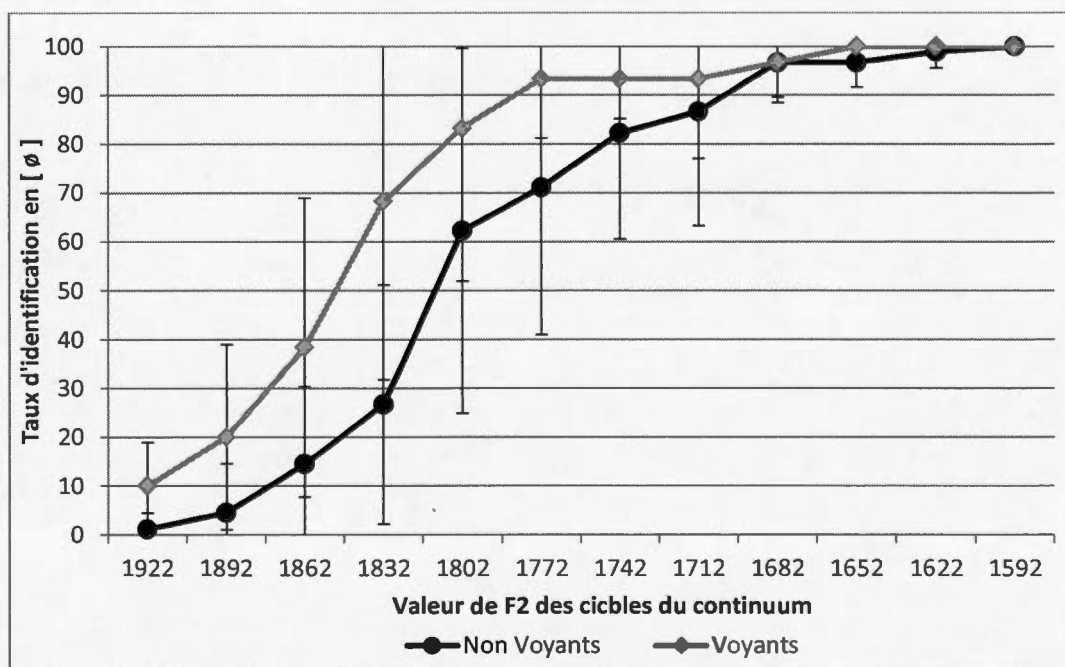
Une première observation de la Figure 3.1 montre que les locuteurs non voyants identifient plus tardivement, selon la dimension F2, la catégorie [ø] que leurs pairs voyants.

En termes statistiques, pour le taux d'identification de [ø] des 12 stimulus composant le continuum [e-ø], l'effet de valeur de F2 s'est avéré significatif ($F(11,143)=78.865$, $p<0.001$ ($E^2 = 0.858$)). Bien que l'effet de groupe soit non significatif

⁵ Comme les seuils auditifs des participants ont été évalués avant le test d'identification perceptuelle, ce résultat atypique ne peut être dû à une mauvaise acuité auditive. Cela pourrait donc être le résultat d'une mauvaise compréhension de la tâche, ou simplement d'une représentation vocalique divergente.

($F(1,13)=4.106$, $p>0.05$ ($E^2 = 0.342$)), une interaction significative entre ces deux variables a été identifiée ($F(11,143)=2.435$, $p<0.01$ ($E^2 = 0.158$)).

Figure 3.1 Taux d'identification [ø] pour l'ensemble des stimuli du continuum [e-ø] en fonction de sa valeur de F2, pour chacun des deux groupes à l'étude.



Ces résultats démontrent que, globalement, les participants ont identifié ces 12 stimuli distinctivement et que les deux groupes de participants ont différemment jugé l'ensemble de ces cibles.

3.1.2 Pente de la courbe d'identification

Cette courbe d'identification permet également de définir dans quelle mesure les deux catégories perceptuelles sont définies de manière catégorielle. Plus la pente de la

courbe d'identification est élevée, plus la distinction entre les cibles [ø] et [e] est claire pour un sujet. Afin de l'évaluer, la pente de la courbe d'identification de [ø] de chacun des sujets a été calculée par la formule qui suit; où x_2 et y_2 réfèrent aux points suivant la valeur à 50% et où x_1 et y_1 la valeur au point précédant le point à 50% sur les axes x et y respectivement:

$$Pente = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}$$

Un T de Student pour lequel le degré de la courbe de chacun des participants servait de variable dépendante et pour lequel le groupe était la variable indépendante a démontré que cette différence était non significative ($(t(13)=-1.854, p>0.05)$). Toutefois, étant donné que cinq des participants, dont quatre voyants, ont identifié l'ensemble des stimuli comme des [ø], et n'ont donc pu produire de courbe d'identification catégorielle, ce résultat est à interpréter avec prudence.

3.1.3 Valeur de la frontière catégorielle entre les cibles [ø] et [e]

Finalement, afin d'identifier le point correspondant à la frontière catégorielle entre les cibles [ø] et [e], nous avons effectué un T de Student pour lequel la valeur de F2 qui était associée à un taux d'identification de [ø] de 50% servait de variable dépendante et pour lequel le groupe était la variable indépendante. Pour la frontière catégorielle, la différence entre les deux groupes de participants était non significative ($(t(13)=-1.596, p>0.05)$). Encore une fois, comme quatre participants voyants et un participant non voyant ont identifié l'ensemble des stimulus comme des [ø], nous n'avons pas pu, pour ces sujets, identifier la valeur de F2 correspondant à la frontière catégorielle

en les deux cibles acoustiques. Le résultat de ce test est donc également à interpréter avec retenue.

3.2 Tâche de production – Résultats acoustiques

Pour effectuer l'analyse de l'adaptation acoustique dans les productions, le calcul des moyennes des productions de chacune des phases où la manipulation est stable, soit Base (répétitions 6 à 20), Tenue (répétitions 71 à 100) et Fin (répétition 101 à 130) a été effectué, en termes de F1, de F2 et de F3, pour chacun des participants. Pour chacun des formants, une ANOVA à mesures répétées a été réalisée, en considérant la phase expérimentale comme variable indépendante intra-sujet et le groupe comme variable indépendante inter-sujet. Étant donné que le degré de l'adaptation est présenté sous forme de ratio, des valeurs de 1 réfèrent à des productions pour lesquelles il n'y a aucune compensation. Des valeurs au-delà de 1 indiquent qu'il y a eu une augmentation des valeurs du formant observé, alors que des valeurs en deçà de 1 désignent plutôt une diminution des valeurs de ce formant (bonne compensation).

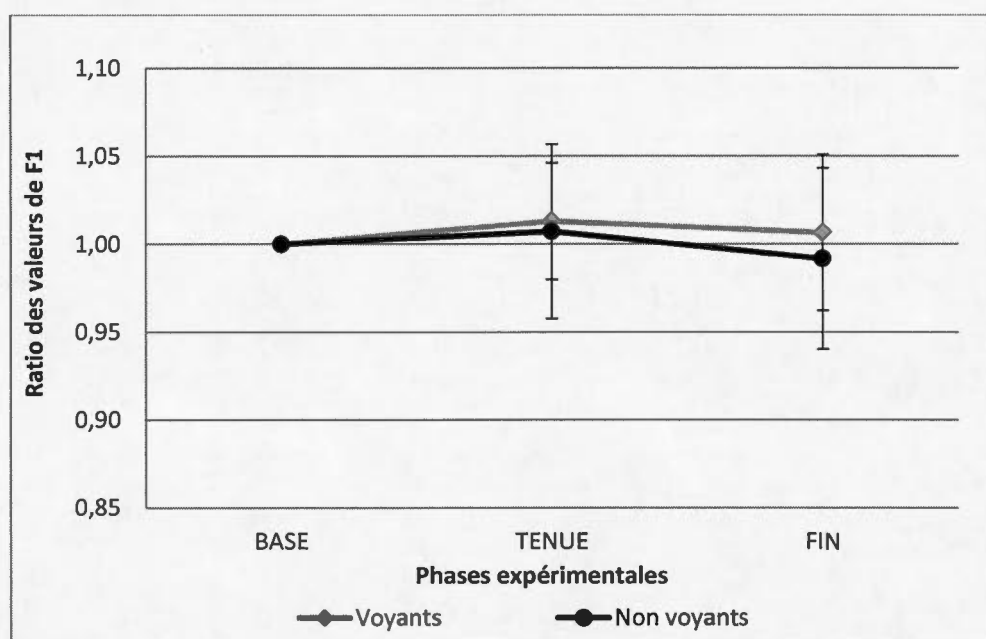
3.2.1 F1

Comme le test de Mauchly indique que l'assomption de sphéricité n'a pas été violée (phase expérimentale ($\chi^2(2)=1.93$, $p>0.05$)), les tests de sphéricité assumée sont rapportés.

Les ratios des valeurs de F1 sont illustrés à la figure 3.2. Tel qu'illustré, l'ensemble des participants ont légèrement augmenté les valeurs de F1 de leurs productions lors de la phase de Tenue et les ont par la suite diminuées à la phase de Fin. Il est

intéressant de noter que les participants voyants n'ont pas réussi à atteindre leurs productions naturelles, soit celles de la base, lors de la phase de Fin. Au contraire, les participants non voyants ont diminué le F1 de leurs productions au point où celles-ci soient inférieures à celles de la phase de base.

Figure 3.2 Ratios des valeurs formantiques de F1 pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.



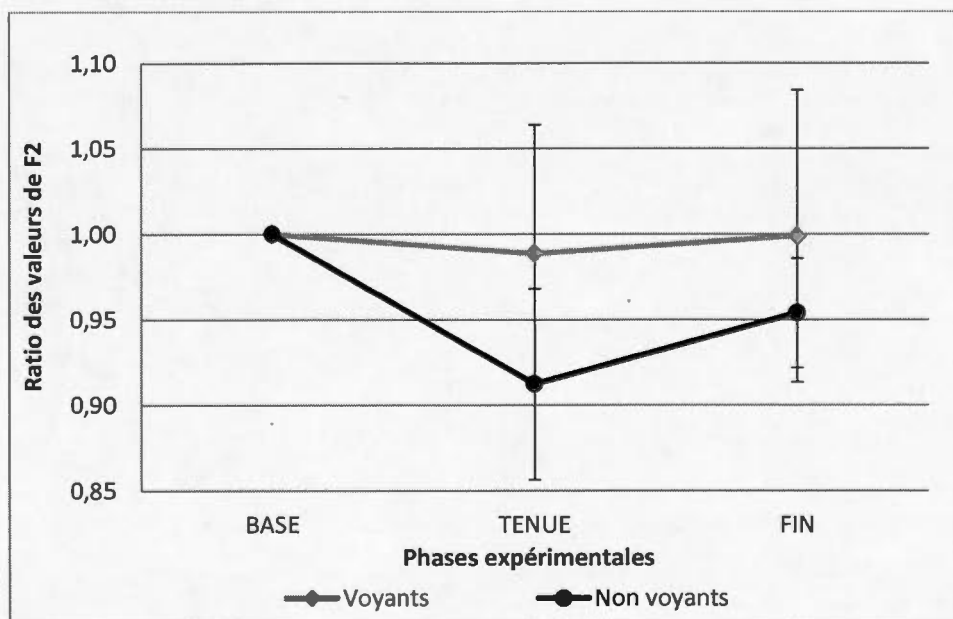
Cependant, pour F1, ni l'effet de phase expérimentale ($F(2,36)=0.841$, $p>0.05$), ni l'effet de groupe ($F(1,18)=0.311$, $p>0.05$) ne se sont avérés significatifs. Compte tenu du fait que la manipulation n'était pratiquement qu'appliquée que sur les valeurs de F2, ces résultats ne sont pas surprenants.

3.2.2 F2

Encore une fois, considérant que le test de Mauchly indique que l'assomption de sphéricité n'a pas été violée (phase expérimentale ($\chi^2(2)=5.13, p>0.05$)), les tests de sphéricité assumée sont rapportés.

Les ratios des valeurs de F2 sont présentés à la figure 3.3. Encore une fois, des valeurs de 1 réfèrent à des productions pour lesquelles il n'y a aucune compensation. Des valeurs au-delà de 1 indiquent qu'il y a eu une augmentation de F2, alors que des valeurs en deçà de 1 désignent plutôt une diminution de F2. Comme on le remarque à la figure 3.3, les participants voyants ont à peine diminué les valeurs de F2 de leurs productions lors de la phase de Tenue, alors que les participants non voyants ont énormément diminué leur F2.

Figure 3.3 Ratios des valeurs formantiques de F2 pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.



Une fois la manipulation acoustique retirée, les participants voyants ont su atteindre leurs productions naturelles. Les participants non voyants, qui ont davantage compensé leurs productions à la phase de Tenue, ont aussi augmenté leur F2 lors de la phase de Fin, mais non pas rejoint leurs productions naturelles.

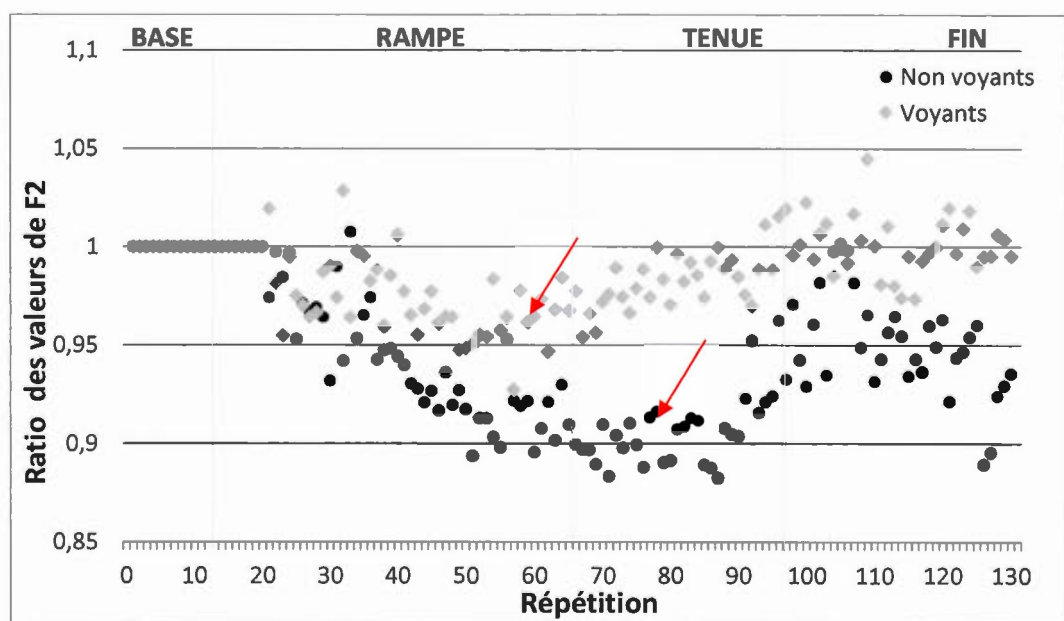
En termes statistiques, pour F2, chacun des effets principaux a été reconnu comme significatif. L'effet de phase ($F(2,36)=7.205$, $p<0.01$ ($E^2 = 0.286$)) indique que pour l'ensemble des participants, les diverses phases expérimentales ont suscité des productions significativement différentes les unes des autres. Une analyse post hoc avec ajustement de Bonferroni a permis d'identifier que l'ensemble des participants ont significativement compensé leurs productions lors de la phase de tenue lorsqu'elle est comparée à la phase de base ($F(1,18)=11.153$, $p<0.01$ ($E^2 = 0.383$)) et lorsqu'elle est comparée à la phase de fin ($F(1,18)=8.133$, $p<0.05$ ($E^2 = 0.311$)).

L'effet significatif de groupe ($F(1,18) = 4.777$, $p<0.05$ ($E^2 = 0.210$)) démontre que les participants adultes voyants et les participants adultes non voyants ont, de manière générale, produit des valeurs de F2 significativement différentes au cours de l'ensemble des phases expérimentales.

Finalement, une interaction significative des variables de phase expérimentale et de groupe de locuteurs ($F(2,36) = 7.323$, $p<0.05$ ($E^2 = 0.194$)) illustre qu'au cours des différentes phases expérimentales, les deux groupes à l'étude ont émis des productions significativement différentes et qu'ils ne se sont donc pas adaptés à la manipulation acoustique de manière identique. Une analyse post hoc avec ajustement de Bonferroni a permis d'identifier que les participants non voyants ont davantage compensé leurs productions que leurs pairs voyants lors de la phase de tenue lorsqu'elle est comparée à la phase de base et ce, de manière significative ($F(1,18)=6.627$, $p<0.05$ ($E^2 = 0.269$)).

Comme les compensations de F2 les plus importantes n'ont pas été produites au cours de la même phase pour les deux groupes observés, nous tenions à observer les différents degrés de compensation maximale, aux dépens des phases expérimentales. Nous avons donc effectué, pour chacun des participants, la moyenne des 26 productions pour lesquelles les compensations étaient les plus importantes, soit pour 20% des productions totales. Un T de Student pour lequel la moyenne des compensations maximales de chacun des participants servait de variable dépendante et pour lequel le groupe était la variable indépendante a démontré que cette différence était significative ($(t(18)=-2.295, p<0.05)$). De ce fait, il est clair que, dans le but de répondre à la manipulation acoustique appliquée, les locuteurs voyants ont significativement moins adapté leurs productions que les locuteurs aveugles. Ce phénomène est d'ailleurs clairement illustré à la figure 3.4, où la moyenne de groupe associée à chacune des répétitions est présentée.

Figure 3.4 Ratio moyen des valeurs de F2 pour chacune des répétitions, pour les deux groupes à l'étude.



Nous avons également cherché à identifier le moment à partir duquel les participants des deux groupes à l'étude ont commencé à émettre des productions pour lesquelles les valeurs de F2 étaient significativement différentes de celles de la phase de base. Pour procéder à l'identification de ce point de changement, nous avons identifié l'erreur type des productions de la phase de base (répétition 5 à 20) de chacun des locuteurs. Un changement significatif était donc observé lorsqu'un sujet produisait trois répétitions consécutives pour lesquelles les valeurs de F2 différaient de plus de 3 erreurs standards de celles de la phase de base. Pour chacun des sujets, l'ampleur de la modification acoustique associée au point de changement était relevée.

De manière générale, les locuteurs du groupe de voyants ont commencé à significativement adapter leurs productions à partir d'une manipulation de 159Hz, soit près de la 36e répétition, alors que les locuteurs du groupe de non-voyants se sont significativement adaptés à partir d'une manipulation d'une magnitude de 149Hz, soit vers la 35e. Un T de Student pour lequel la magnitude de la manipulation associée au point de changement de chacun des participants servait de variable dépendante et pour lequel le groupe était la variable indépendante a démontré que cette différence n'était pas significative ($t(18)=-0.159$, $p>0.05$). Les deux groupes ont donc commencé à émettre des productions significativement différentes de celles de leurs productions naturelles au même moment.

Finalement, nous avons cherché à identifier le moment à partir duquel les participants ont, non seulement arrêté de compenser, mais commencé à réajuster leurs productions, soit lorsque les valeurs de F2 ont commencé à se rapprocher de celles des productions de leur phase de base. Pour chacun des locuteurs, nous avons divisé l'ensemble des 130 répétitions en 26 blocs de 5 répétitions, puis en avons calculé la moyenne. Par la suite, nous avons ciblé la répétition à partir de laquelle la valeur de F2 était de plus de 0.03% de la répétition précédente, pour un minimum de deux

occurrences consécutives; la répétition ciblée devait également suivre celle pour laquelle une compensation significative avait été préalablement reconnue. Un T de Student ayant la répétition associée au point de remontée comme variable dépendante et le groupe comme variable indépendante a confirmé que cette différence était significative ($t(18)=2.380$, $p<0.05$). Effectivement, les participants voyants ont un point de remontée qui s'engage, en moyenne, à la 57e répétition, alors que pour les participants non voyants, ce point s'observe, en moyenne, à la 77e répétition. De ce fait, les locuteurs voyants ont arrêté d'adapter leurs productions alors qu'ils sont encore dans la phase de rampe; les participants non voyants ont plutôt attendu la phase de tenue avant d'agir ainsi. Les deux flèches rouges sur la figure 3.4 témoignent nettement de cette différence de point de remontée entre les deux groupes étudiés.

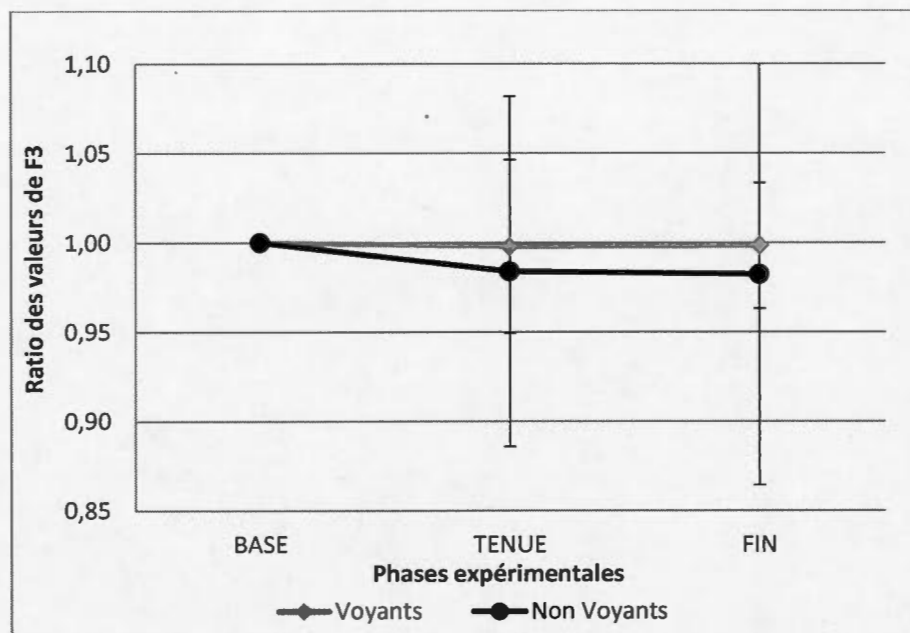
3.2.3 F3

Pour F3, le test de Mauchly indique que l'assomption de sphéricité a été violée (phase expérimentale ($\chi^2(2)=9.099$, $p<0.05$)), les tests de Greenhouse-Geisser sont alors rapportés.

Bien que peu d'apataion aient été observées au niveau de F3, on remarque, à la figure 3.5, que les participants non voyants ont davantage altéré ce formant au cours de l'expérimentation, en comparaison aux participants voyants.

Tout comme pour F1, ni l'effet de phase expérimentale ($F(1.414,36)=0.231$, $p>0.05$ ($E^2 = 0.013$)), ni l'effet de groupe ($F(1,18)=0.177$, $p>0.05$ ($E^2 = 0.010$)) ne se sont avérés significatifs. Comme la manipulation était surtout appliquée sur les valeurs de F2, ces résultats sont, encore une fois, peu étonnants.

Figure 3.5 Ratios des valeurs formantiques de F3 pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.



3.3 Tâche de production - Résultats articulatoires

3.3.1 Déplacements articulatoires en trois dimensions

Comme mentionné auparavant, pour effectuer l'analyse des comportements compensatoires dans les mouvements articulatoires, le calcul des moyennes des coordonnées en 3 dimensions des phases : Base (répétitions 6 à 20), Tenue (répétitions 71 à 100) et Fin (répétition 101 à 130) a été effectué pour chacune des coordonnées des capteurs analysés, soit celui de la lèvre supérieure, de la lèvre inférieure, de l'apex de la langue et du dos de la langue, et ce, pour chacun des participants. Pour chacun des capteurs, une ANOVA à mesures répétées a été

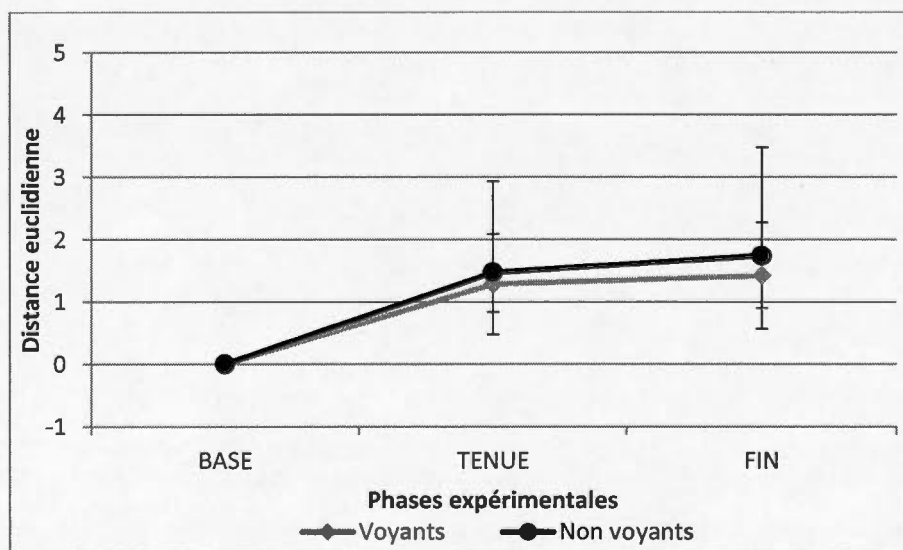
réalisée, les trois phases expérimentales servant de variable indépendante intra-sujet et les deux groupes à l'étude employés comme variable indépendante inter-sujet.

3.3.1.1 Lèvre supérieure

Pour le capteur de la lèvre supérieure, le test de Mauchly indique que l'assomption de sphéricité a été violée (phase expérimentale ($\chi^2(2) = 6.163, p < 0.05$)), les tests de Greenhouse-Geisser sont donc rapportés.

Les déplacements de la lèvre supérieure, entre les phases de Base, de Tenue et de Fin, sont illustrés à la figure 3.6. On y voit clairement que les deux groupes étudiés ont employé des stratégies articulatoires semblables afin de répondre à la manipulation acoustique de F2.

Figure 3.6 Déplacement de la lèvre supérieure, en trois dimensions, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.



Plus précisément, l'effet de phase ($F(1.534,36) = 59.674$, $p < 0.001$ ($E^2 = 0.768$)) indique que pour l'ensemble des sujets, les différentes phases expérimentales ont engendré une adaptation significative de la lèvre supérieure. Une analyse post hoc avec ajustement de Bonferroni démontre que les participants ont significativement déplacé leur lèvre supérieure lors de la phase de tenue lorsqu'elle est comparée à la phase de base ($F(1,18) = 72.398$, $p < 0.001$ ($E^2 = 0.801$)). Bien que les phases de base et de fin n'aient toutes deux subi aucune forme de manipulation acoustique, la position moyenne de la lèvre supérieure de ces deux phases est également significativement différente ($F(1,18) = 69.713$, $p < 0.001$ ($E^2 = 0.795$)). Les phases de tenue et de fin n'engendrent pas, quant à elles, de déplacement significativement différent ($F(1,18) = 3.407$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.159$)). Aucun effet ne groupe n'a été observé ($F(1,18) = 0.570$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.031$)).

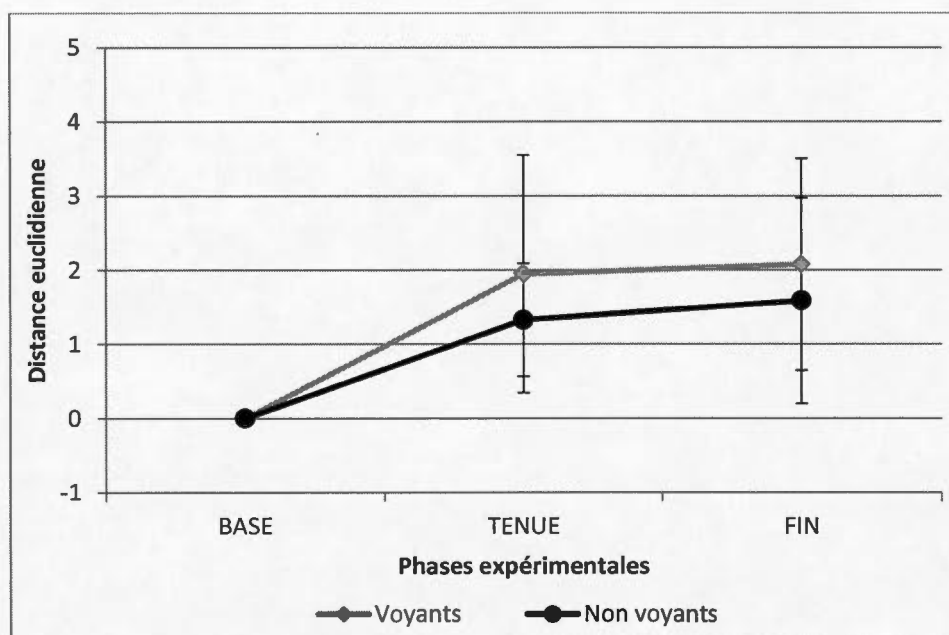
3.3.1.2 Lèvre inférieure

Encore une fois, le test de Mauchly indique que l'assomption de sphéricité a été violée (phase expérimentale ($\chi^2(2) = 12.921$, $p < 0.05$)), les tests de Greenhouse-Geisser sont donc rapportés.

Comme le démontre la figure 3.7, les deux groupes étudiés ont, encore une fois, usés de stratégies articulatoires semblables pour pallier la manipulation de F2. On remarque toutefois que les locuteurs voyants ont davantage fait usage de leur lèvre inférieure que les locuteurs non voyants.

D'un point de vue statistique, un effet significatif de phase ($F(1.305,36) = 30.811$, $p < 0.001$ ($E^2 = 0.631$)) démontre que, pour l'ensemble des sujets, les trois phases expérimentales ont généré un déplacement significatif de la lèvre inférieure.

Figure 3.7 Déplacement de la lèvre inférieure, en trois dimensions, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.



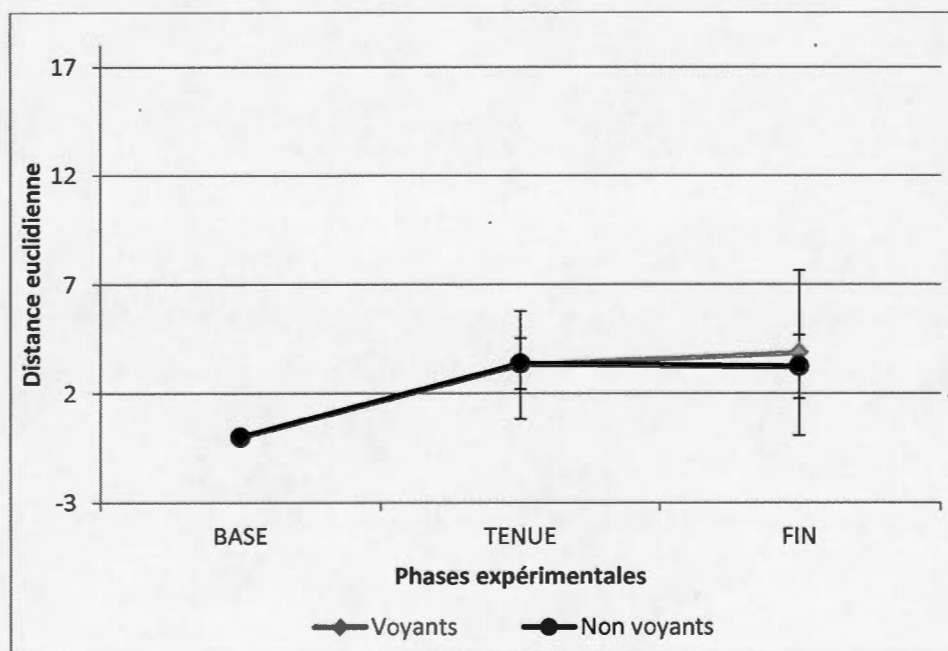
Une analyse post hoc avec ajustement de Bonferroni démontre que les participants ont significativement adapté la position de leur lèvre inférieure lors de la phase de tenue lorsqu'elle est comparée à la phase de base ($F(1,18)=34.061$, $p<0.001$ ($E^2 = 0.654$)). Aussi, la position de la lèvre inférieure est significativement différente pour les phases de base et de fin ($F(1,18) = 33.829$, $p<0.001$ ($E^2 = 0.653$)). Toutefois, les phases de tenue et de fin ne présentent pas de différence significative ($F(1,18) = 1.926$, $p>0.05$ ($E^2=0.098$)). Malgré les petites différences entre les participants, aucun effet ne groupe n'a été observé ($F(1,18) = 0.912$, $p>0.05$ ($E^2 = 0.048$)).

3.3.1.3 Apex de la langue

Le test de Mauchly indique que l'assomption de sphéricité a été violée (phase expérimentale ($\chi^2(2)=13.645, p<0.05$)). De ce fait, les tests de Greenhouse-Geisser sont ici rapportés.

Les coordonnées associées aux déplacements de l'apex de la langue sont présentées à la figure 3.8. De manière générale, on remarque que l'ensemble des participants a agi similairement entre les différentes phases de l'expérimentation.

Figure 3.8 Déplacement de l'apex de la langue, en trois dimensions, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.



Tout comme pour les précédents articulateurs, un effet de phase significatif ($F(1.289,36)=33.224, p<0.001$ ($E^2 = 0.649$)) montre que l'apex de la langue était, de manière générale, différemment positionné en fonction des trois phases

expérimentales. Une analyse post hoc avec ajustement de Bonferroni permet d'avancer que, en passant de la phase de base à la phase de tenue, l'ensemble des participants ont significativement déplacé l'apex de leur langue ($F(1,18)=59.111$, $p<0.001$ ($E^2 = 0.767$)). La différence des coordonnées de l'apex de la langue entre les phases de base et de fin a également été signalée comme significative ($F(1,18) = 30.700$, $p<0.001$ ($E^2 = 0.630$)). Le passage de la phase de tenue à la phase de fin n'a cependant pas engendré de déplacement significatif ($F(1,18) = 0.407$, $p>0.05$ ($E^2=0.022$)). Comme le démontre la figure 3.8, aucun effet ne groupe n'a été observé ($F(1,18) = 0.073$, $p>0.05$ ($E^2 = 0.004$)).

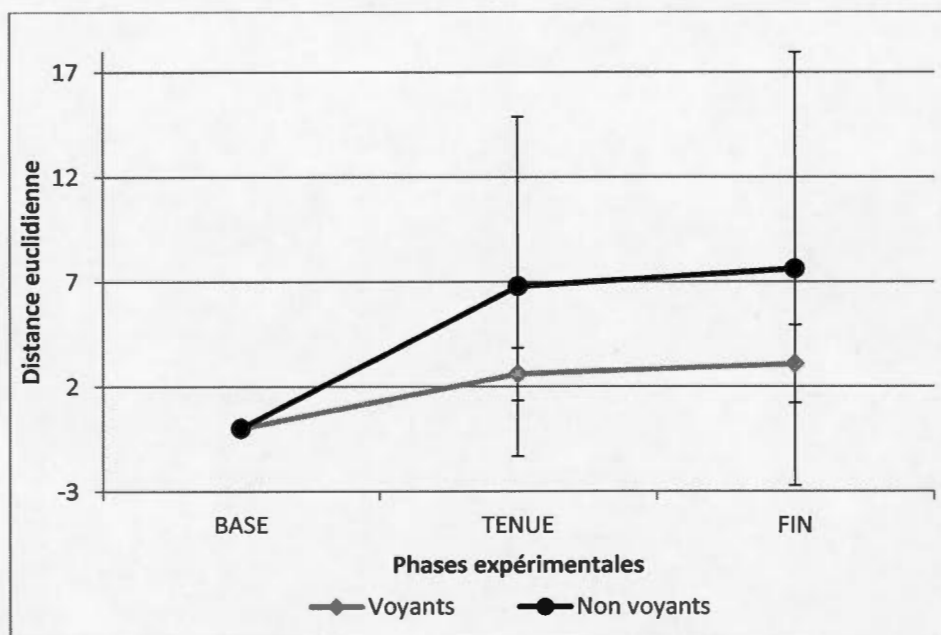
3.3.1.4 Dos de la langue

Le test de Mauchly indique que l'assomption de sphéricité a été violée (phase expérimentale ($\chi^2(2)=36.591$, $p<0.05$)), les tests de Greenhouse-Geisser sont donc présentés.

Les déplacements du dos de la langue sont illustrés à la figure 3.9. On y note que les deux groupes de participants ont effectué des déplacements similaires, mais à des degrés différents. Effectivement, on remarque que les locuteurs non voyants ont davantage fait usage de cet articulateur pour répondre à l'altération de F2 dans leurs productions.

En termes statistiques, un effet significatif de phase ($F(1.062,36)=10.940$, $p<0.01$ ($E^2 = 0.378$)) dénote que les coordonnées du dos de la langue étaient généralement différentes entre les trois phases expérimentales.

Figure 3.9 Déplacement du dos de la langue, en trois dimensions, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.



Une analyse post hoc avec ajustement de Bonferroni démontre que, en passant de la phase de base à la phase de tenue, les participants ont significativement déplacé le dos de leur langue ($F(1,18)=13.086$, $p<0.01$ ($E^2 = 0.421$)). Comme pour les autres articulateurs observés, le déplacement du dos de la langue entre la phase de tenue et la phase de fin s'est avéré non significatif ($F(1,18) = 1.905$, $p>0.05$ ($E^2=0.096$)). La position du dos de la langue des phases de base et de fin a aussi été identifiée comme significative ($F(1,18) = 10.394$, $p=0.005$ ($E^2 = 0.366$)). Toutefois, aucun effet de groupe n'a été observé ($F(1,18) = 2.205$, $p>0.05$ ($E^2 = 0.109$)).

Comme plusieurs effets de groupe et certaines interactions de phase et de groupe ont été signalés au plan acoustique, il est surprenant de n'en observer aucun sur le plan articulatoire. Afin de déterminer si des déplacements significativement différents ont

eu lieu entre les deux groupes de locuteurs étudiés, nous avons décidé d'observer, de manière isolée, les deux dimensions reconnues comme les plus influentes en parole, soit les dimensions horizontale et verticale.

3.3.2 Déplacements articulatoires en dimensions isolées

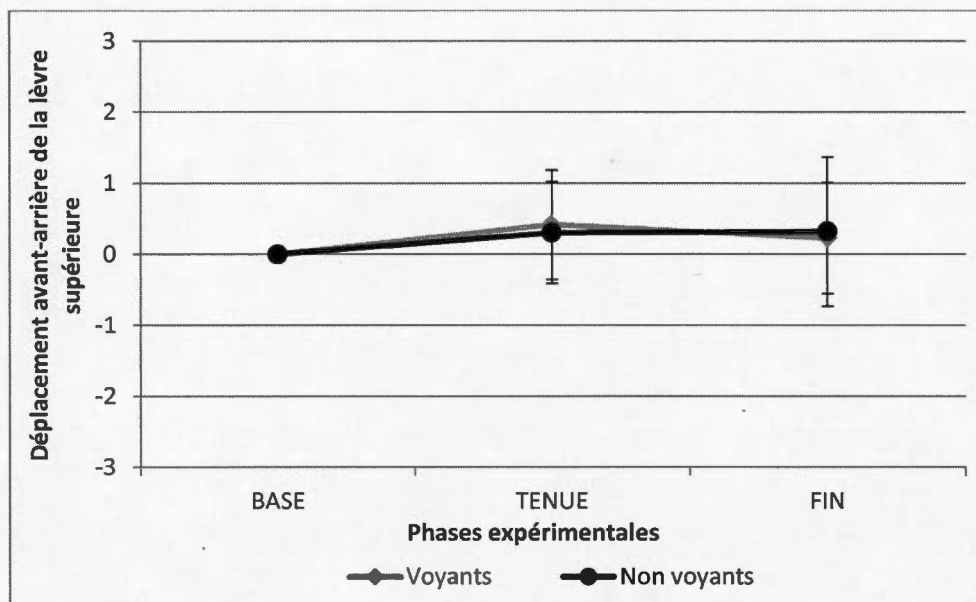
Les déplacements articulatoires sont présentés sous forme de différences de coordonnées entre, d'une part les phases de tenue et de fin et les valeurs de la phase de base. Une valeur articulatoire de 0 réfère à une position identique à celle de la position neutre. Des valeurs au-delà de 0 indiquent qu'il y a eu un mouvement vers l'avant ou vers le haut, alors que des valeurs en deçà de 0 désignent plutôt un mouvement vers l'arrière ou vers le bas, pour les dimensions horizontale et verticale respectivement.

3.3.2.1 Lèvre supérieure

Pour les dimensions horizontale, soit pour les déplacements avant-arrière, et verticale, soit haut-bas, les tests de Mauchly indiquent que l'assomption de sphéricité a été violée (dimension horizontale : phase expérimentale ($\chi^2(2)=8.483$, $p<0.05$)), (dimension verticale : phase expérimentale ($\chi^2(2)=27.780$, $p<0.05$)), les tests de Greenhouse-Geisser sont donc rapportés.

La figure 3.10 présente les déplacements de la lèvre supérieure au plan horizontal. On y voit que les deux groupes étudiés ont tous deux avancé cet articulateur à la phase de tenue, mais qu'ils ont employé des stratégies articulatoires différentes pour le passage de la phase de tenue à la phase de fin.

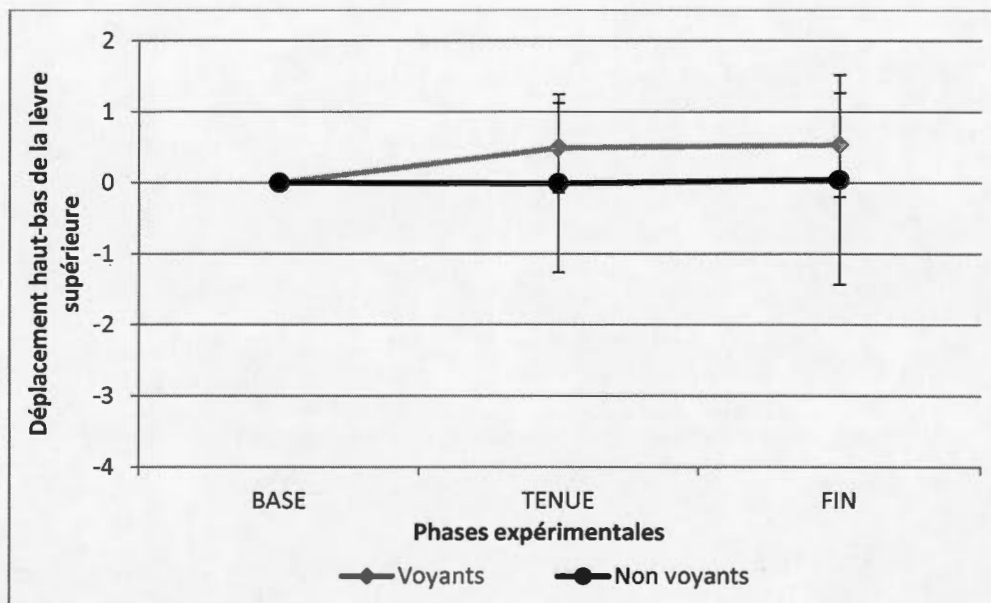
Figure 3.10 Déplacement, sur la dimension avant-arrière, de la lèvre supérieure, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.



Bien qu'aucun effet général de phase n'a été relevé ($F(1,436,36) = 2.526$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.113$)), on observe une différence significative de la position de la lèvre supérieure sur un axe avant-arrière entre la phase de base et la phase de tenue ($F(1,18) = 4.647$, $p < 0.05$ ($E^2 = 0.205$)). Aucune différence significative entre la phase de tenue et la phase de fin ($F(1,18) = 0.586$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.454$)), ni entre la phase de base et la phase de fin ($F(1,18) = 1.731$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.088$)), n'a été trouvée. Aussi, aucun effet de groupe n'a été observé ($F(1,18) = 0.001$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.000$)).

Les déplacements verticaux de la lèvre supérieure sont illustrés à la figure 3.11. On remarque que les deux groupes rencontrés ne semblent pas employer les mêmes stratégies articulatoires pour répondre à la manipulation acoustique.

Figure 3.11 Déplacement, sur la dimension haut-bas, de la lèvre supérieure, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.



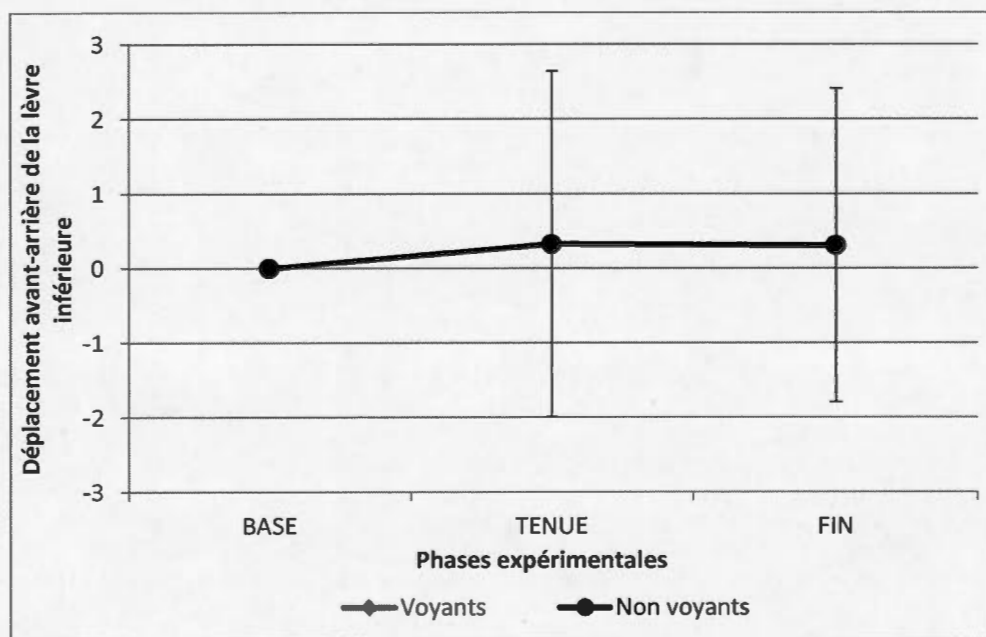
Malgré cela, les déplacements de la lèvre supérieure sur un axe haut-bas n'engendrent aucun effet général de phase ($F(1.301,36) = 1.108$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.058$)) ou de groupe ($F(1,18) = 1.112$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.058$)).

3.3.2.2 Lèvre inférieure

Pour les dimensions horizontale et verticale, les tests de Mauchly indiquent que l'assomption de sphéricité a été violée (dimension horizontale : phase expérimentale ($\chi^2(2) = 27.780$, $p < 0.05$)), (dimension verticale : phase expérimentale ($\chi^2(2) = 25.303$, $p < 0.05$)), les tests de Greenhouse-Geisser sont alors rendus.

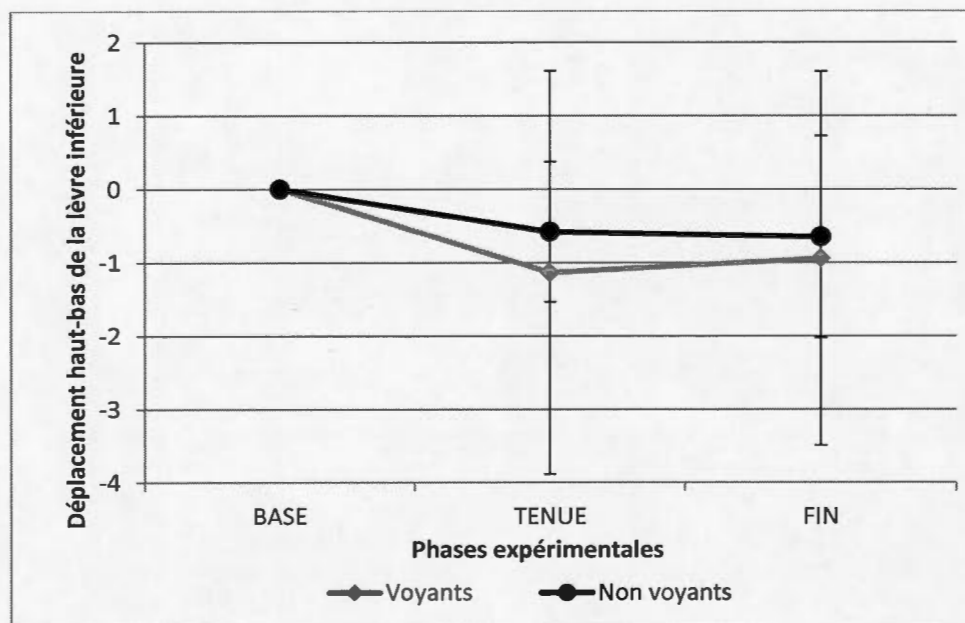
Les figures 3.12 et 3.13 présentent les déplacements de la lèvre inférieure sur les plans horizontal et vertical. Globalement, on remarque que les locuteurs voyants et non voyants ont fait usage de cet articulateur de façon similaire. On peut toutefois souligner que, bien que cette différence soit minime, les locuteurs voyants ont davantage abaissé leur lèvre inférieure lors de la phase de tenue.

Figure 3.12 Déplacement, sur la dimension avant-arrière, de la lèvre inférieure, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.



En ce qui concerne les déplacements de la lèvre inférieure, aucun effet de phase ($F(1.132,36) = 0.590$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.032$)), ($F(1.127,36) = 3.138$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.148$)) ou de groupe ($F(1,18) = 0.006$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.000$)), ($F(1,18) = 0.221$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.012$)) ne s'est avéré significatif, pour les dimensions horizontale et verticale respectivement.

Figure 3.13 Déplacement, sur la dimension haut-bas, de la lèvre inférieure, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.



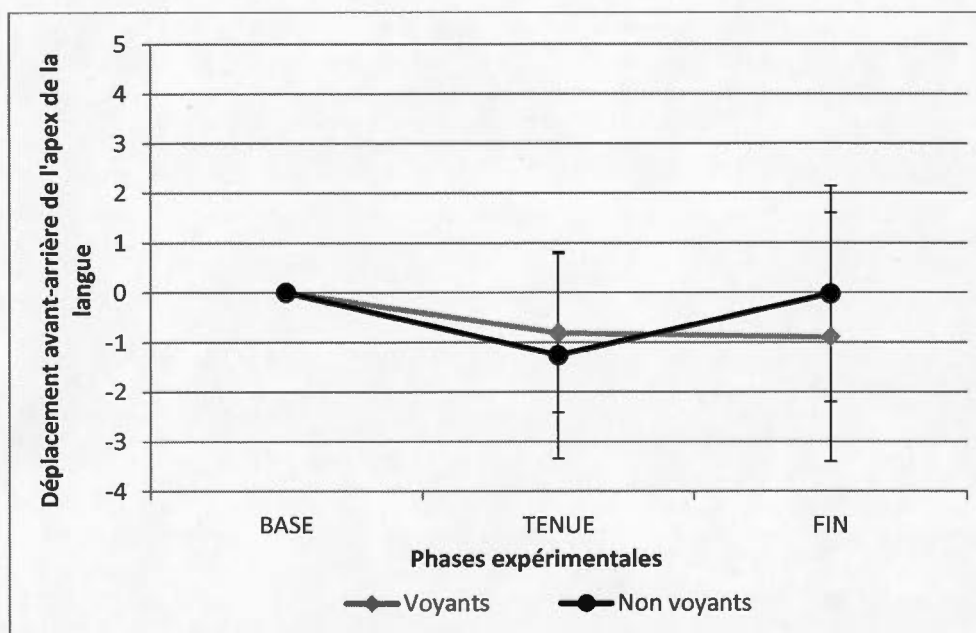
3.3.2.3 Apex de la langue

Encore une fois, les tests de Mauchly indiquent que l'assomption de sphéricité a été violée, et ce, pour les deux dimensions observées (dimension horizontale : phase expérimentale ($\chi^2(2)=10.712$, $p<0.05$)), (dimension verticale : phase expérimentale ($\chi^2(2)=6.511$, $p<0.05$)). Les tests de Greenhouse-Geisser sont donc rapportés.

Les déplacements avant-arrière de l'apex de la langue sont démontrés à la figure 3.14. On y voit d'ailleurs que, bien que les deux groupes étudiés aient reculé leur apex lors de la phase de tenue, les locuteurs non voyants ont effectué ce mouvement de manière

plus importante et l'ont réavancé à la phase de fin. Quant à eux, les participants voyants ont continué à reculer leur apex entre les phases de tenue et de fin.

Figure 3.14 Déplacement, sur la dimension avant-arrière, de l'apex de la langue, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.

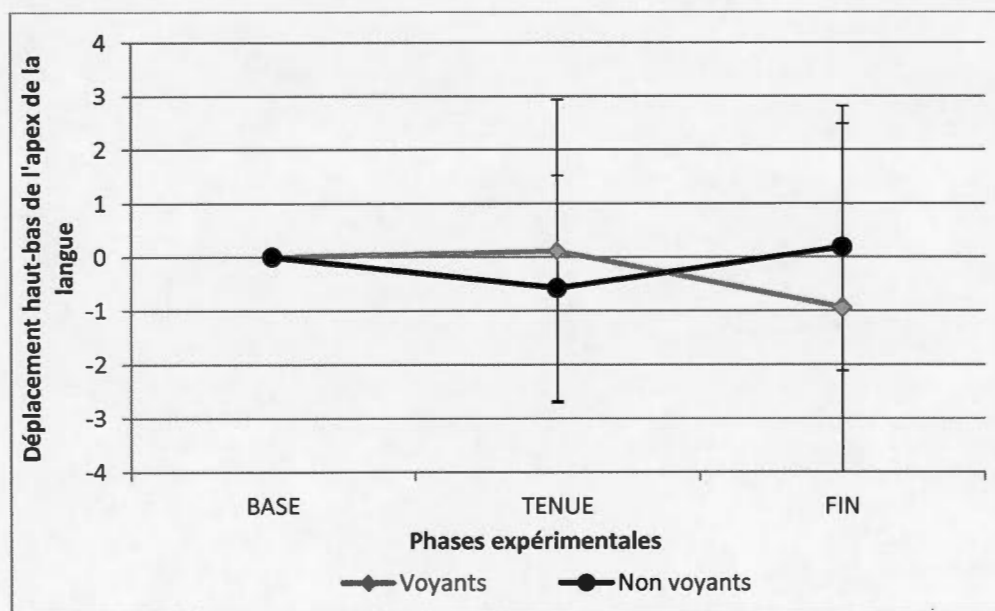


D'un point de vue statistique, les mouvements articulatoires avant-arrière de l'apex de la langue, n'ont su démontrer un effet général de phase ($F(1,202,36) = 1.665$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.085$)). Par contre, on remarque une différence significative des déplacements horizontaux entre la phase de base et la phase de tenue ($F(1,18) = 6.271$, $p < 0.05$ ($E^2 = 0.258$)) et entre la phase de tenue et la phase de fin ($F(1,18) = 4.656$, $p < 0.05$ ($E^2 = 0.206$)). Les différentes positions de l'apex de la langue entre la phase de base et la phase de fin ne sont toutefois pas significatives ($F(1,18) = 0.775$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.390$)). Bien que l'effet de groupe soit jugé non significatif ($F(1,18) = 0.054$,

$p > 0.05$ ($E^2 = 0.003$)), une interaction significative entre la phase de tenue et la phase de fin est observée en fonction des deux groupes à l'étude ($F(1,18)=6.148$, $p < 0.05$ ($E^2 = 0.255$)). Cet articulateur a donc été différemment utilisé, dans la dimension avant-arrière, par les deux groupes observés lorsque la minupulation acoustique est à son maximum.

Les déplacements sur l'axe vertical sont illustrés à la figure 3.15. On remarque que les stratégies employées à chacune des phases expérimentales sont différentes, particulièrement pour le passage de la phase de tenue à la phase de fin.

Figure 3.15 Déplacement, sur la dimension haut-bas, de l'apex de la langue, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.



Les différentes positions de l'apex de la langue n'ont démontré aucun effet général de phase : ($F(1.517,36) = 0.226$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.012$)), ni de groupe ($F(1,18) = 0.034$,

$p > 0.05$ ($E^2 = 0.002$)). Malgré tout, une interaction significative entre les deux groupes de locuteurs, pour le passage de la phase de tenue à la phase de fin, s'est avérée significative ($F(1,18)=4.820$, $p < 0.05$ ($E^2 = 0.211$)), celle-ci est illustrée à la figure 3.15.

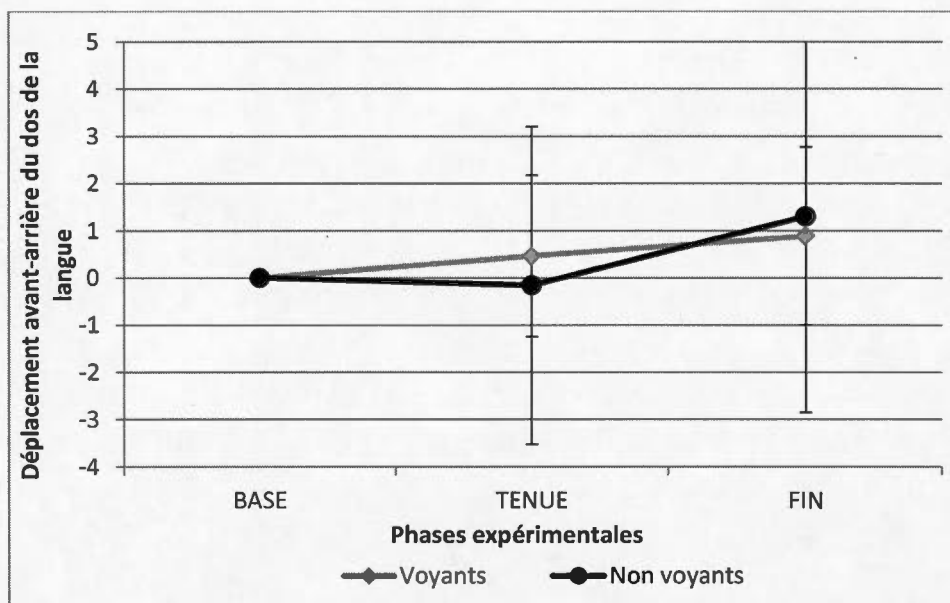
3.3.2.4 Dos de la langue

Finalement, comme pour les autres articulateurs observés, les tests de Mauchly indiquent que l'assomption de sphéricité a été violée, pour les dimensions avant-arrière (phase expérimentale ($\chi^2(2)=24.757$, $p < 0.05$)) et haut-bas (phase expérimentale ($\chi^2(2)=10.209$, $p < 0.05$)). Les tests de Greenhouse-Geisser sont rapportés.

La figure 3.16 montre les déplacements horizontaux du dos de la langue. Il est possible de dénoter que les locuteurs voyants et non voyants semblent faire usage du dos de leur langue de manière différente, principalement entre les phases de tenue et de fin.

Néanmoins, les déplacements horizontaux du dos de la langue n'ont pas permis de relever un effet général de phase ($F(1.132,36) = 2.264$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.112$)). Les positions de cet articulateur ont cependant été identifiées comme significativement différentes entre la phase de tenue et la phase de fin ($F(1,18)=15.966$, $p=0.001$ ($E^2 = 0.470$)). Aucune différence significative de la position du dos de la langue entre la phase de base et la phase de tenue ($F(1,18)=0.065$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.004$)) ou entre la phase de base et la phase de fin ($F(1,18)=2.305$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.113$)) n'ont été observés.

Figure 3.16 Déplacement, sur la dimension avant-arrière, du dos de la langue, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.

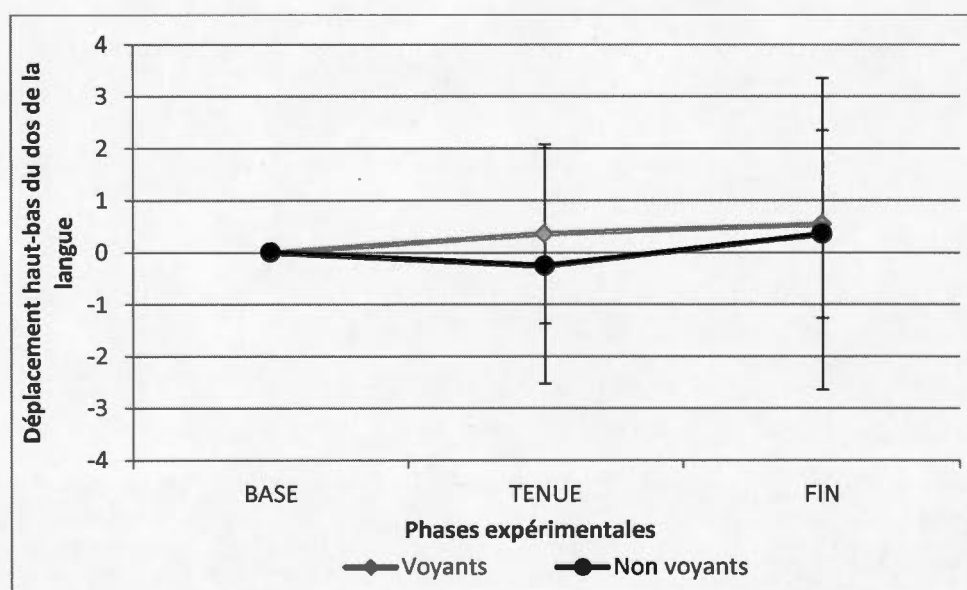


Même si aucun effet de groupe n'a été observé pour les déplacements horizontaux du dos de la langue ($F(1,18) = 0.006$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.000$)), une interaction significative en les deux groupes, pour le passage de la phase de tenue à la phase de fin, été reconnue ($F(1,18) = 4.835$, $p < 0.05$ ($E^2 = 0.212$)). De ce fait, comme pour l'apex, les participants voyants ont différemment employé le dos de leur langue pour pallier la manipulation acoustique lorsqu'elle était à son comble.

La figure 3.17 fait référence aux déplacements du dos de la langue dans la dimension haut-bas. On y remarque, entre autres, que lors du passage de la phase de base à la phase de tenus, les deux groupes de participants ont employé des stratégies articulatoires différentes.

En termes statistiques, il semble que les déplacements verticaux n'aient toutefois provoqué, ni un effet général de phase ($F(1,756,36) = 0.618$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.033$)) ni un effet de groupe ($F(1,18) = 0.171$, $p > 0.05$ ($E^2 = 0.009$)).

Figure 3.17 Déplacement, sur la dimension haut-bas, du dos de la langue, pour les phases expérimentales de Base, de Tenue et de Fin, pour chacun des deux groupes à l'étude.



3.4 Relation entre les aptitudes perceptuelles et le degré d'adaptation acoustique

Pour chacun des participants, la variable de score perceptuel a été observée de trois façons: soit par la moyenne du taux d'identification [ø] de chacun des 12 stimuli du continuum, soit par le delta de la courbe d'identification entre les cibles [ø] et [e], ou encore par le point correspondant à la frontière catégorielle entre ces deux cibles.

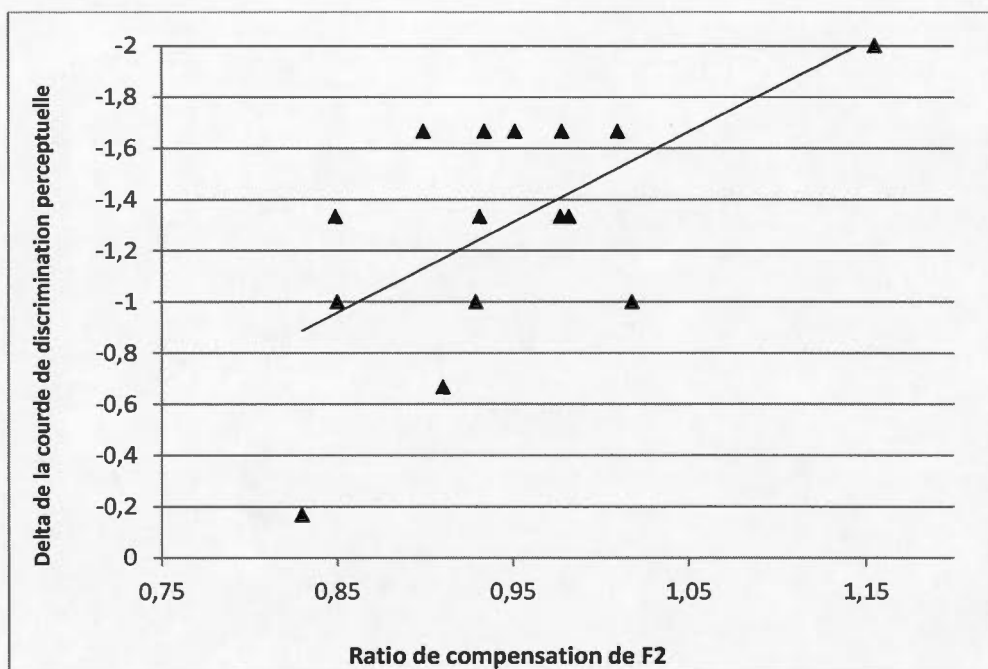
Quant à elle, la variable de degré de compensation correspondait au degré de compensation de F2 de la phase de Tenue.

L'hypothèse d'une relation entre le taux d'identification de [ø] et le degré de la compensation acoustique de F2 a été infirmée par de coefficient de corrélation de Pearson ($r(20) = 0.246, p > 0.05$). Effectivement, il semblerait qu'il n'existe aucun lien statistique entre ces variables.

L'hypothèse d'une relation entre le degré de la courbe d'identification perceptuelle et le degré de la compensation acoustique de F2 de la phase de Tenue est démontrée à la figure 3.18. Il est à noter que les données de l'axe des y (pente) correspondent à la pente de la courbe d'identification [ø] sur le continuum et sont donc négative. On y remarque que plus la pente de la courbe de discrimination perceptuelle est faible (fonction faiblement catégorielle), plus le ratio de compensation est en deçà de 1, ce qui correspond à une compensation plus importante. En termes statistiques, cette relation est confirmée par le coefficient de corrélation de Pearson ($r(20) = -0.608, p < 0.05$). Le degré de la courbe d'identification des cibles [ø] et [e] semble donc être un prédicateur du degré de compensation acoustique de F2 lorsque la manipulation de la rétroaction auditive est la plus importante.

Finalement, l'hypothèse d'une relation entre le point correspondant à la frontière catégorielle des cibles [ø] et [e] et le degré de la compensation acoustique de F2 a été infirmée par de coefficient de corrélation de Pearson. En effet, lorsque la frontière catégorielle est mise en rapport avec l'adaptation acoustique de F2 de la phase de Tenue ($r(20) = 0.196, p > 0.05$), aucun lien statistique n'est observable entre ces deux variables.

Figure 3.18 Relation entre la pente de la courbe d'identification perceptuelle et le degré de compensation acoustique de F2



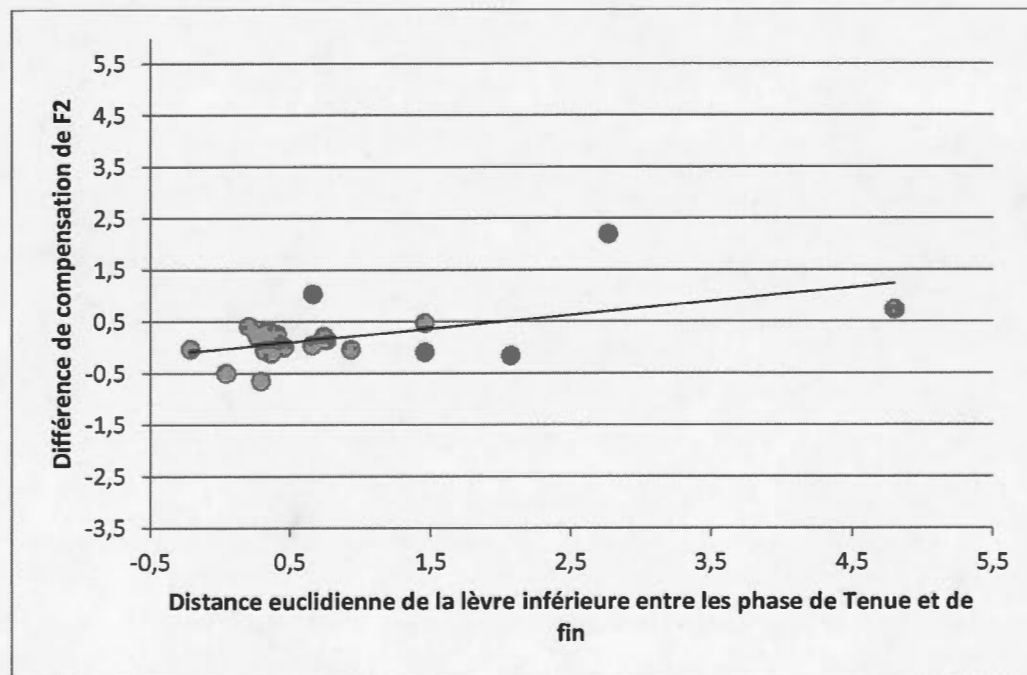
3.5 Relation entre le degré de compensation acoustique et l'importance des déplacements articulatoires

Pour ce qui est du lien entre l'adaptation acoustique de F2 et les déplacements articulatoires, nous avons procédé, tel que mentionné plus tôt, à la différence entre les valeurs de F2 de la phase de fin et celles de la phase de Tenue et à la différence entre les distances euclidiennes de ces deux mêmes phases, pour chacun des capteurs analysés.

Pour chacun des participants, des corrélations de Pearson ont donc été effectuées pour lesquelles la variable d'adaptation acoustique correspondait à la différence de F2 entre les phases de Tenue et de Fin, alors que la variable de l'importance des déplacements articulatoires référait à la différence des distances euclidiennes de chacun des capteurs, pour ces mêmes phases. Les figures 3.19 et 3.20 témoignent de la relation significative entre les différences d'adaptation acoustique et articulatoire pour les articulateurs de la lèvre inférieure et du dos de la langue respectivement.

L'hypothèse d'un lien statistique entre l'adaptation acoustique de F2 et le déplacement de la lèvre supérieure a été infirmée par le coefficient de corrélation de Pearson ($r(20) = -0.009, p > 0.05$).

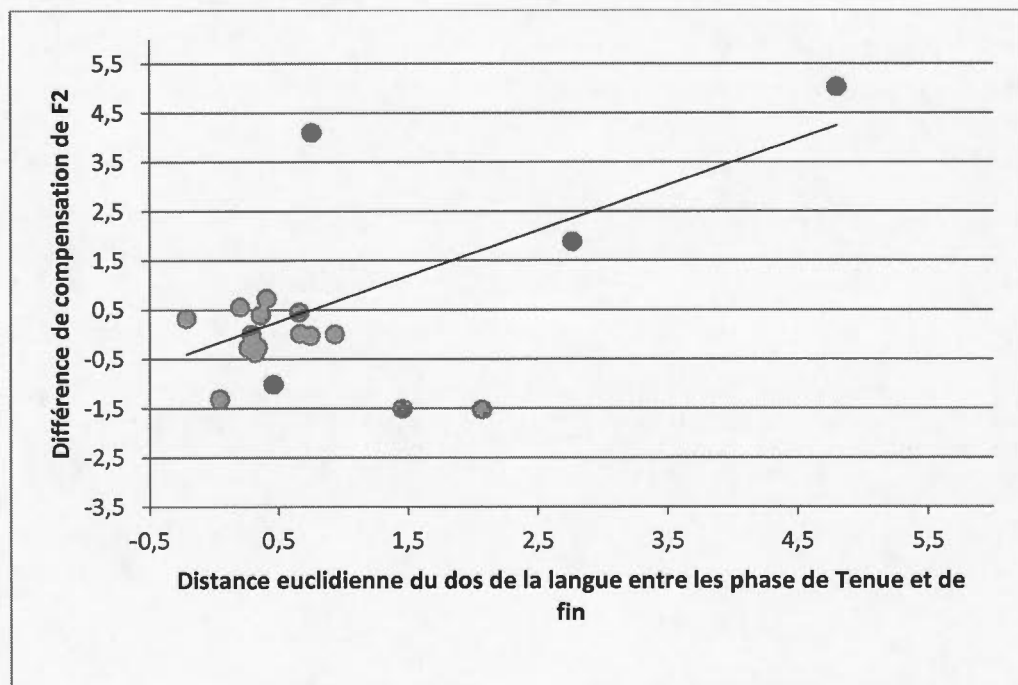
Figure 3.19 Relation entre l'adaptation acoustique de F2 et l'adaptation articulatoire de la lèvre inférieure pour les deux dernières phases expérimentales



Au contraire, l'hypothèse d'un lien statistique entre l'adaptation acoustique de F2 et le déplacement de la lèvre inférieure a , quant à elle, été confirmée par le coefficient de corrélation de Pearson ($r(20) = 0.524, p < 0.05$).

Pour ce qui est de l'hypothèse du rapport entre l'adaptation acoustique de F2 et le déplacement de l'apex de la langue, celle-ci a également été infirmée par le coefficient de corrélation de Pearson ($r(20) = -0.352, p > 0.05$).

Figure 3.20 Relation entre l'adaptation acoustique de F2 et l'adaptation articulatoire du dos de la langue pour les deux dernières phases expérimentales



Finalement, l'hypothèse d'une relation statistique entre le degré de compensation acoustique de F2 et le déplacement du dos de la langue a été confirmée par le coefficient de corrélation de Pearson ($r(20) = 0.509, p < 0.05$).

Globalement, il semble donc que la différence d'adaptation acoustique de F2 soit statistiquement liée à la différence de déplacement de la lèvre inférieure et du dos de la langue. Toutefois, il semble qu'il n'existe pas de relation statistique entre la différence d'adaptation de F2 et la différence de déplacement de la lèvre supérieure et l'apex de la langue.

L'ensemble des résultats qui ont été ici rapportés, soit ceux du test de perception, ceux de la tâche de production et ceux les mettant en relation seront prochainement discutés. Plus particulièrement, les résultats acoustiques et articulatoires de la tâche de production seront mis en relation avec les observations générales qui ont été soulevées dans les études précédemment recensées.

CHAPITRE IV

DISCUSSION

L'étude proposée avait pour but d'examiner les comportements acoustiques et articulatoires compensatoires en réponse à une manipulation de la rétroaction acoustique en temps réel chez les locuteurs adultes voyants et non voyants. Par le biais de l'analyse de l'impact d'une cécité visuelle congénitale sur l'adaptation à une manipulation acoustique, cette recherche permet donc d'évaluer l'apport de la vision dans les stratégies de perception et de production de la parole.

Ce dernier chapitre reprendra les résultats précédemment énoncés dans le but d'identifier les modèles de stratégies compensatoires acoustiques et articulatoires mis en place par chacun des deux groupes de locuteurs étudiés afin de répondre à la manipulation acoustique reçue.

4.1 Observations d'un point de vue acoustique

Globalement, l'adaptation acoustique observée chez l'ensemble des participants est similaire à celle que l'on retrouve dans la littérature (Houde et Jordan, 1998; Purcell et Munhall, 2006a; MacDonald et coll., 2011; Mitsuya et coll., 2013). Effectivement, en réponse à l'augmentation des valeurs de F2, l'ensemble des participants a compensé ses productions en diminuant les valeurs de F2 des voyelles émises. De plus, le degré de compensation de F2 était différent en fonction de chacune des phases expérimentales, ce qui témoigne du succès du protocole employé. Bien que certaines études aient démontré qu'une manipulation formantique peut influencer les valeurs des formants adjacents (Mitsuya et coll. 2013; Villacorta, 2006; Villacorta et coll., 2007), nous n'avons pas observé de compensations au niveau de F1 et de F3 suite à la manipulation des valeurs formantiques de F2.

De manière générale, les compensations de F2 ne sont pas apparues immédiatement après la manipulation de rétroaction auditive. En effet, pour chacun des deux groupes, un certain nombre de répétitions pour lesquelles une manipulation avait lieu ont été nécessaires avant qu'une compensation acoustique graduelle s'opère. Des observations similaires sont mentionnées dans d'autres études de manipulation acoustique d'informations formantiques (MacDonald et coll., 2010; Munhall et coll., 2009; Max et coll., 2003; Neufeld et coll., 2013).

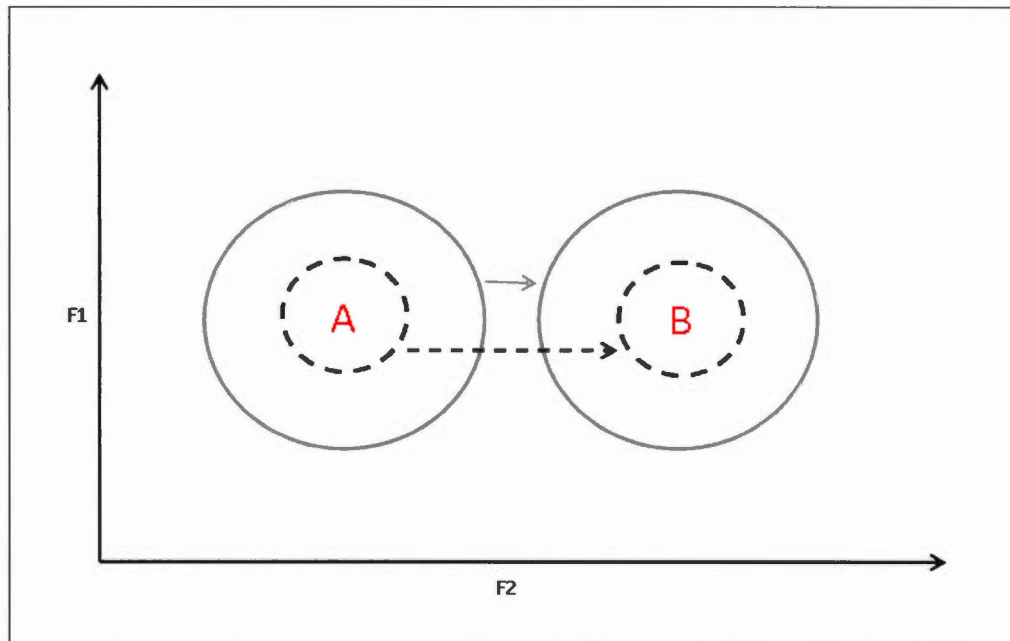
Bien que les deux groupes de participants aient commencé à adapter leurs productions sensiblement au même moment, l'ampleur de l'adaptation s'est avérée différente entre les locuteurs voyants et non voyants. Effectivement, conformément à nos hypothèses de départ, les locuteurs aveugles ont davantage compensé les valeurs de F2 de leurs productions que les locuteurs voyants.

Il semble donc que les participants présentant une cécité accorderaient une plus grande importance à leur rétroaction auditive que leurs pairs voyants. Cette observation appuie grandement l'idée d'une compensation sensorielle due à une réorganisation cérébrale des processus de traitement des informations visuelles, où les zones cérébrales normalement dédiées à la vision seraient complémentaires à celles traitant les informations de sources perceptuelles autres, telle la vision (Fortin et coll., 2007, Voss et coll., 2010).

Cette différence considérable entre l'adaptation acoustique des locuteurs voyants et non voyants peut également être expliquée par le fait que les participants aveugles ont démontré avoir de meilleures habiletés perceptuelles. Effectivement, les résultats de la tâche de perception ont permis d'avancer que ces derniers ont plus rapidement identifié un changement des valeurs de F2 entre les cibles vocaliques [ø] et [e], contrairement aux participants voyants. De plus, une corrélation entre le degré de la courbe d'identification des cibles [ø] et [e], permettant d'identifier la robustesse de la distinction de ces deux cibles, et l'ampleur des compensations de F2 a été observée chez l'ensemble des participants. Les résultats de la présente étude démontrent donc que, comme les participants non voyants catégorisent les deux cibles vocaliques de façon plus distincte, ceux-ci ont davantage adapté leurs productions en réponse à la manipulation de F2.

Comme le mentionne Perkell et coll. (2004), il semble exister une relation étroite entre l'acuité perceptuelle d'un sujet et sa capacité à identifier une manipulation acoustique, et à s'y adapter. Cette relation entre la catégorisation de deux cibles acoustiques et l'ampleur de la compensation nécessaire pour passer de la production d'une cible à l'autre est schématisée à la figure 4.1.

Figure 4.1 Schématisation du rapport entre la catégorisation de cibles acoustiques et la compensation nécessaire à un changement de cible.



On y comprend que lorsque les deux cibles vocaliques sont nettement définies, soit celles définies par un pointillé noir, une compensation acoustique plus importante est nécessaire afin de passer de la perception de la cible acoustique A à celle de la cible acoustique B. En revanche, lorsque les deux cibles sont moins distinctes, par exemple celles en gris, un changement acoustique de moins grande importance assure le passage de la voyelle A à la voyelle B.

Il est donc peu surprenant d'observer que les participants voyants, pour lesquels la frontière catégorielle est moins nette, ont arrêté de compenser leurs productions beaucoup plus tôt, au cours de l'expérimentation, que les locuteurs non voyants.

Effectivement, les locuteurs voyants atteignent leurs plateaux de compensation et commence à reproduire des cibles en direction du [ø] à la 57^e répétition, soit lorsque la manipulation acoustique est en deçà de 400Hz, alors que les locuteurs non voyants persistent dans leurs adaptations acoustiques jusqu'à la 77^e répétition, soit après que la manipulation maximale de 500Hz soit atteinte. Ils ont donc eu à corriger leurs productions de manière plus importante afin de percevoir la voyelle qui leur était demandée de produire. Ces résultats vont dans le même sens que ceux proposés par Mitsuya et coll. (2013) qui, via l'exécution d'une manipulation acoustique chez deux groupes linguistiques, montrent que les comportements compensatoires sont influencés par l'organisation des cibles phonologiques dans l'espace acoustique.

Bien que les participants voyants et non voyants aient compensé à des niveaux différents, chacun d'entre eux n'a compensé que partiellement à la manipulation de la rétroaction auditive; l'adaptation était de 8% pour les locuteurs voyants et de 14% pour les locuteurs non voyants. Ce pourcentage, qui a été calculé en fonction de la compensation maximale observée pour chacun des sujets, est relativement plus bas que ceux rapportés dans les études précédemment recensées (Purcell et Munhall, 2006b; Munhall et coll., 2009; MacDonald et coll., 2010). Toutefois, l'ampleur de la manipulation de l'étude ici discutée était de plus grande importance que celle de la majorité des études recensées, soit de 500Hz plutôt que de +/- 200Hz.

Une fois la manipulation acoustique retirée, les deux groupes de locuteurs ont rapidement produit des voyelles semblables à celles émises à la phase de base, soit lorsqu'il n'y avait aucune manipulation de la rétroaction auditive. Bien que cet aspect n'ait pas été examiné dans le présent mémoire, il est intéressant de souligner que, suite au retrait de la manipulation de F2, les participants non voyants qui avaient pourtant cessé d'adapter leurs productions vocaliques ont recommencé à compenser

leurs productions dans le sens inverse de celle de la manipulation précédemment reçue.

De manière générale, bien que ce protocole expérimental n'avait jamais été testé chez les locuteurs non voyants, les comportements adaptatifs acoustiques observés allaient de pair avec nos hypothèses de recherche. Effectivement, dû à leur condition de cécité, nous avons pu observer, chez les locuteurs non voyants, une plus grande importance des informations auditives et, par conséquent, de l'adaptation acoustique.

4.2 Observations d'un point de vue articulatoire

Du point de vue articulatoire, les résultats obtenus vont également dans le sens des hypothèses proposées. Encore une fois, l'originalité de la recherche nous empêche d'en comparer les résultats avec des études similaires; aucune recherche de manipulations acoustiques chez les aveugles n'ayant été réalisée auparavant.

Nous avons tout de même comparé nos résultats avec ceux des quelques recherches s'intéressant aux stratégies articulatoires impliquées lors d'une manipulation acoustique (Neufeld, 2013; Neufeld et coll., 2013 et Max et coll., 2003). Toutefois, ces derniers auteurs n'ont pas pu établir de relation entre les changements articulatoires et acoustiques observés lors de manipulation acoustique. Au contraire, l'étude ici discutée nous a permis d'observer un rapport étroit entre les déplacements articulatoires et les changements acoustiques enregistrés. Le fait que nous avons pu observer cette relation pourrait être expliqué par le fait que nous avons effectué une manipulation formantique de F2 alors que les études ci-haut mentionnées ont plutôt altéré les valeurs de F1, ou encore de F1 et de F2 simultanément.

Nous avons également comparé nos observations avec celles retenues dans les études s'intéressant aux stratégies articulatoires employées par les locuteurs voyants et non voyants (Leclerc, 2007; Trudeau-Fisette et coll., 2013; Ménard et coll., à paraître; Ménard, à paraître). Tout comme pour ces auteures, nous avons pu identifier certaines stratégies articulatoires propres à chacun des deux groupes de locuteurs.

Mentionnons d'abord que les participants ont, de manière générale, utilisé l'ensemble des articulateurs ciblés, soit la lèvre supérieure, la lèvre inférieure, l'apex de la langue et le dos de la langue, afin de pallier les différents degrés de manipulation acoustique perçue. Le fait que chacun de ces articulateurs ait été employé à des niveaux différents en fonction des phases expérimentales appuie l'hypothèse d'une relation solide entre la position des articulateurs de la parole et le signal acoustique qui en découle (Gunther et Perkell, 2004 et Schwartz et coll., 2012). Les résultats de l'étude présentée nous ont d'ailleurs permis d'observer des corrélations significatives entre les déplacements articulatoires et les changements acoustiques de F2 .

Pour ce qui est du moment où la manipulation de F2 était à son maximum, on observe que l'ensemble des participants a particulièrement avancé leur lèvre supérieure et reculé l'apex et le dos de leur langue. Ces observations vont de pair avec celles produites à l'aide du logiciel Growth qui démontrent que différents articulateurs peuvent être impliqués dans la modification d'un signal acoustique.

Malgré le fait que les deux groupes de participants aient employé l'ensemble des articulateurs pour répondre à la manipulation acoustique de F2, on remarque certains comportements spécifiques à chacun des groupes de locuteurs. Il est intéressant de mentionner que les modèles articulatoires différents ont été observés au cours des dernières répétitions de l'expérimentation, soit au moment où la manipulation n'était plus présente. Effectivement, les résultats de la présente étude ont permis de constater

que les locuteurs voyants et non voyants ont employé des stratégies articulatoires différentes suite au retrait de la manipulation acoustique de F2.

Plus spécifiquement, on remarque que les participants aveugles ont davantage fait usage de l'apex et du dos de leur langue que les participants voyants. En effet, alors que l'ensemble des sujets a reculé leur apex pour pallier la manipulation, les locuteurs non voyants ont rapidement exécuté le mouvement contraire au moment où la manipulation a été retirée. Les locuteurs voyants ont, quant à eux, continué à déplacer leur apex vers l'arrière de la cavité buccale. Toujours dans le but de répondre à l'altération de leur rétroaction auditive, on observe que les sujets aveugles ont également abaissé l'apex de leur langue. Encore une fois, ceux-ci ont repositionné cet articulateur à son emplacement initial une fois la manipulation retirée. Au contraire, les participants voyants, qui n'avaient pourtant pas effectué de déplacement de dimension haut-bas pour cet articulateur, ont abaissé l'apex de leur langue lors de la dernière phase expérimentale. Globalement, on remarque qu'une fois l'altération supprimée, les participants non voyants ont davantage su repositionner l'apex de leur langue à sa position initiale que les participants voyants (« after-effect » moins long et moins robuste chez les aveugles par rapport aux voyants), ce qui suggère que les sujets aveugles n'ont pas su apprendre les nouvelles stratégies déployées dans la phase de manipulation. Cette hypothèse sera testée ultérieurement dans des travaux à venir.

Des résultats similaires ont été observés pour le dos de la langue. Effectivement, lors de la dernière phase expérimentale, les sujets voyants ont persisté dans l'avancement du dos de leur langue alors que les participants non voyants, qui avait légèrement reculé cet articulateur au moment où la manipulation acoustique était à son maximum, ont par la suite effectué le mouvement inverse, soit avancé le dos de leur langue.

Malgré le fait que, d'un point de vue acoustique, les deux groupes aient rapidement su produire, suite au retrait de la manipulation de F2, des cibles correspondant à la voyelle [ø], seuls les participants non voyants ont, d'un plan articulatoire, démontré avoir fait usage de leur langue pour y parvenir. De ce fait, les deux groupes de locuteurs semblent avoir utilisé des stratégies articulatoires différentes afin de produire la voyelle [ø] après la suppression de la manipulation acoustique. Ces résultats vont de pair avec ceux proposés par Leclerc (2007), Trudeau-Fisette et coll. (2013) et Ménard et coll. (2013) qui démontrent que les locuteurs voyants utilisent davantage leurs lèvres alors que les locuteurs non voyants font davantage usage de leur langue afin de produire des cibles acoustiques intelligibles. Effectivement, la vision étant impliquée dans les mécanismes d'acquisition de la parole, les locuteurs voyants, qui ont connaissance de l'apport des informations transmises par la modalité visuelle dans la perception de la parole, vont davantage en faire l'usage dans le but de se faire comprendre par leur interlocuteur. Afin d'y compenser, les locuteurs présentant une cécité congénitale vont alors utiliser leur langue, un articulateur non visible, de manière plus importante (Ménard, 2013, Ménard, à paraître).

Pour conclure, lors de l'expérimentation de manipulation de la rétroaction acoustique chez les locuteurs adultes voyants et non voyants, il nous a été possible de tirer deux conclusions générales. D'abord, les participants aveugles, pour qui la distinction de cibles acoustiques est plus nette, ont davantage répondu à l'altération de F2 qui leur était imposée. Effectivement, ces derniers ont non seulement compensé leurs productions de manière plus importante, mais ils ont également produit cette adaptation acoustique plus longtemps. Ensuite, les participants voyants et non voyants ont employé des modèles articulatoires différents afin de pallier la manipulation acoustique perçue. En effet, les locuteurs présentant une cécité

congénitale ont davantage fait usage de leur articulateur non visible, soit leur langue, que les locuteurs voyants.

De manière générale, il nous est possible d'avancer que les locuteurs voyants et non voyants ont réagi de manière différente suite à une manipulation de leur rétroaction auditive en temps réel. Effectivement, via l'observation du poids accordé à la rétroaction auditive dans une tâche de manipulation acoustique, il nous a été possible de conclure que les participants aveugles accordaient une plus grande importance aux informations sensorielles auditives que leurs pairs voyants. Ces derniers, ayant accès aux informations sensorielles visuelles balanceraient leurs sources perceptuelles de manière plus équilibrée et, de ce fait, accorderaient une moins grande attention aux informations auditives. Cette observation permet de conclure que les informations visuelles, bien que de seconds plans, tiennent un rôle important dans les processus de perception et de production de la parole.

CONCLUSION

L'objectif général de ce mémoire était d'évaluer le poids accordé aux informations visuelles dans les mécanismes de perception et de production de la parole. La production et la perception de la parole étant des phénomènes impliquant tant les informations auditives, visuelles et somatosensorielles, il nous semblait intéressant d'observer l'impact d'une cécité visuelle sur les processus de parole.

Afin d'y parvenir, nous avons procédé à l'enregistrement de dix locuteurs adultes voyants et de dix locuteurs adultes non voyants lors d'une tâche de production répétitive de la voyelle arrondie [ø]. Les participants avaient d'abord pour tâche de produire plusieurs répétitions de cette voyelle en condition normale, soit non perturbée. Dans la condition perturbée, les locuteurs recevaient, comme rétroaction sensorielle, via un casque d'écoute, une version altérée de leur propre parole, en temps réel.

De ce fait, la production entendue était différente de celle produite. Afin de répondre à cette perturbation et d'entendre ce qu'ils produisaient réellement, les participants devaient donc compenser leur production en adaptant leur prononciation. L'adaptation des productions était d'autant plus grande que le poids de la perception auditive était important pour le participant.

Le signal acoustique a été enregistré simultanément à la prise de données articulatoires. Il nous a donc été possible, en plus d'examiner les différences acoustiques, d'observer, par le suivi de capteurs dans un articulographe électromagnétique en trois dimensions, le déplacement des articulateurs visibles (lèvres) et non visibles (langue) impliqués dans la production de la parole.

Comme plusieurs auteurs ont démontré que les locuteurs présentant une cécité visuelle congénitale ont souvent de meilleures habiletés perceptuelles, il était prédit que les personnes aveugles accorderaient un poids plus important à la rétroaction auditive que leurs pairs voyants et, par conséquent, compenseraient davantage suite à la perturbation auditive provoquée.

De manière générale, nous avons pu démontrer que les locuteurs non voyants accordent un poids plus important à la perception auditive que leurs pairs voyants. Effectivement, les personnes aveugles congénitales qui, suite à la tâche de perception, ont démontré avoir de meilleures aptitudes perceptuelles, ont davantage modifié leurs productions vocaliques dans le but de palier la manipulation qui leur était imposée. De plus, il nous a été possible d'observer que les deux groupes de locuteurs ont employé des stratégies articulatoires différentes afin de moduler leurs productions acoustiques. Effectivement, tel que prédit, comparativement aux locuteurs voyants, les participants présentant une cécité visuelle ont davantage fait l'usage de leur langue, soit un articulateur non visible, afin d'adapter leurs productions.

Par cette étude, il nous a donc été possible d'observer la contribution des indices visuels dans les processus de perception et de production de la parole et donc d'appuyer l'hypothèse selon laquelle la vision occuperait une place importante dans l'implémentation phonétique des cibles phonologiques.

Globalement, ce mémoire se voit donc être une contribution importante aux recherches s'attardant à l'impact d'une privation sensorielle sur les mécanismes de la parole et à celles s'intéressant à la relation entre les habiletés de perception et de production de la parole.

Suite aux conclusions obtenues, il serait pertinent d'évaluer, dans une recherche nouvelle, l'apport de la rétroaction somatosensorielle dans une tâche de manipulation acoustique, soit la propriété de ressentir nos propres mouvements . Effectivement, il est possible que certains des participants aient peu compensé leurs productions, non pas par négligence des informations auditives, mais parce que les informations proprioceptives, par exemple l'arrondissement excessif des lèvres, étaient, pour eux, plus importantes. Cette nouvelle perspective de recherche permettrait ainsi d'évaluer l'apport de chacune des rétroactions sensorielles impliquées dans les mécanismes de perception et de production de la parole en plus d'en comprendre la relation.

BIBLIOGRAPHIE

Arnaud, L., Sato, M., Ménard, L. et Gracco, V. L. (2013). *Repetition Suppression for Speech Processing in the Associative Occipital and Parietal Cortex of congenitally Blind Adults*. PloS ONE 8(5) e64553 doi:10.1371/journal.pone.0064553.

Benoît, C., Mohamadi, T., et Kandel, S. D. (1994). *Effects on phonetic context on audio-visual intelligibility of French*. Journal of Speech and Hearing Research, 37:1195-1203.

Burnett T.A., Freedland M.B., Larson C.R. et Hain T.C. (1998). *Voice F0 responses to manipulations in pitch feedback*. Journal of the Acoustical Society of America 103:3153-3161.

Chen, S. H., Liu, H. et Larson, C. R. (2007) *Voice F0 responses to pitch-shifted voice feedback during English speech*. Journal of the Acoustical Society of America, 121(2):1157-1163.

Dohen, M. et Loevenbruck, H. (2009). *Interaction of audition and vision for the perception of prosodic constractive focus*. *Language and Speech*, 52: 177-206.

Elman, J. L. (1981). *Effects of frequency-shifted feedback on the pitch of vocal productions*. *Journal of the Acoustical Society of America*, 70(1):45-50.

Fortin, M., Voss, P., Lassonde, M. et Lepore, F. (2007). *Perte sensorielle et réorganisation cérébrale*. *Médecine/Sciences*, 23: 917-922.

Fowler, C. A., et Turvey, M. T. (1980). *Immediate compensation in bite- block speech*. *Phonetica* 37: 306-326.

Gougoux, F., Lepore, F., Lassonde, M., Voss, P., Zatorre, R.J. et Belin, P. (2004). *Pitch discrimination in the early blind*. *Nature*: 430-309.

Gougoux F., Zatorre R.J., Lassonde M., Voss P. et Lepore F. (2005). *A functional neuroimaging study of sound localization: visual cortex activity predicts performance in early-blind individuals*. *PLoS Biol*, 3:324-333.

Guenther, F. H. (2006). *Cortical interactions underlying the production of speech sounds*. *Journal of Communication Disorders* (39): 350-365.

Guenther, F. H. et Perkell, J. S., (2004). «Chapitre 2 - A neural model of speech production and its application to studies of the role of auditory feedback in speech». Dans *Speech Motor Control in Normal and Disordered Speech*, sous la dir. de

Maassen, B., Kent, R., Peters, H., Van Lieshout, P. et Hulstijn, W. Oxford University Press: 29-49

Held, R. (1965). *Plasticity in sensory-motor systems*. Journal of the Acoustical Society of America, 213: 84–94.

Houde, J.F. et Jordan, M.I. (1998). *Sensorimotor Adaptation in Speech Production*. Science 279:1213-1216.

Hugdahl, K., M. Ek, F. Takio, T. Rintee, J. Tuomainen, C. Haarala, et H. Hamalainen. (2004). *Blind individuals show enhanced perceptual and attentional sensitivity for identification of speech sounds*. Cognitive Brain Research, 19:28-32.

Ito, T., Tiede, M. et Ostry, D. J. (2009). *Somatosensory function in speech perception*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. Vol.116 (4): 1245-1248.

Jääskeläinen, I. (2010). *The Role of Speech Production System in Audiovisual Speech Perception*. The Open Neuroimaging Journal. (4):.30-36.

Jones, J. A., et Munhall, K. G. (2000). *Perceptual calibration of F0 production: Evidence from feedback perturbation*. Journal of the Acoustical Society of America (108) : 1246-1251.

Jones, J. A. et Munhall, K. G. (2002). *The role of auditory feedback during phonation: Studies of Mandarin tone production*, Journal of Phonetics 30: 303–320.

Kujala, t., Palva, M., J., Salonen, O., Alku, P., Huotilainen, M., Järvinen, A. et Nääätänen, R. (2005). *The role of blind humans' visual cortex in auditory change detection*. Neuroscience Letters. 379: 127-131.

Lane, H. and Webster, J. W. (1991). *Speech deterioration in postlingually deafened adults*. Journal of the Acoustical Society of America (89): 859–866.

Lane, H., Denny, M., Guenther, F., Matthies, M., Menard, L., Perkell, J., Stockman, E., Tiede, M., Vick, J., et Zandipour, M. (2005). *Effects of bite blocks and hearing status on vowel production*. Journal of the Acoustical Society of America (118): 1636–1646.

Leclerc, A. (2007). *Le rôle de la vision dans la production de la parole : Étude articulatoire et acoustique des voyelles orales du français québécois produites par des locuteurs voyants et aveugles*. Mémoire de Maîtrise. Montréal : Université du Québec à Montréal.

Lessard N., Paré M., Lepore F. et Lassonde M. (1998). *Early-blind human subjects localize sound sources better than sighted subjects*. Nature, 395:278–280.

Liu, P., Chen, Z., Larson, C.R., Huang, H., and Liu, H. (2010). *Auditory feedback control of voice fundamental frequency school children*. Journal of the Acoustical Society of America (128):1306-1312.

Martin, P. (1996). *Éléments de phonétique avec application au français*. Sainte-Foy: Presses de l'Université Laval.

Max, L., Wallace, M. E., et Vincent, I. (2003). *Sensorimotor adaptation to auditory perturbations during speech: Acoustic and kinematic experiments*. Présenté à 15e ICPHS. Barcelona, 1053-1056.

MacDonald, E. N., Goldberg, R., et Munhall, K. G. (2010). *Compensations in response to real-time formant perturbations of different magnitudes*. Journal of the Acoustical Society of America 127(2): 1059–1068.

MacDonald, E. N., Purcell, D. W. et Munhall, K. G. (2011). *Probing the independence of formant control using altered auditory feedback*. Journal of the Acoustical Society of America 129(2): 955–965.

McGurk, H. et J. MacDonald. (1976). *Hearing lips and seeing voices*. Nature, (264):746-748.

Ménard, L. (2002). *Production et perception des voyelles au cours de la croissance du conduit vocal : variabilité, invariance et normalisation*. Thèse de doctorat, Université Stendhal/Institut de la communication parlée, Grenoble.

Ménard, L., Dupont, S., Baum, S. R. et Aubin, J. (2009). *Production and perception of French vowels by congenitally blind adults and sighted adults*. Journal of the Acoustical Society of America (126): 1406-1414.

Ménard, L. (2013). «Part 3 – Communication and language origins: Sensorimotor constraints and the organization of sound patterns. Dans *New Perspectives on the Origins of Languages*, sous la dir. De Lefebvre, C., Comrie, B. et Cohen, H. John Benjamins Publishing Company : 257-277.

Ménard, Lucie (à paraître). *Multimodal Speech Production*. In Handbook of Speech Production. Redford (ed.).

Ménard, L., Leclerc, A. et Tiede, M. (à paraître). *Articulatory and acoustic correlates of contrastive focus in congenitally blind adults and sighted adults*. Journal of Speech, Language, and Hearing Research.

Mitsuya T., Samson, F., Ménard, L. et Munhall. K. G. (2013). *Language dependent vowel representation in speech production*. Journal of the Acoustical Society of America 133 (5): 2993–3003.

Munhall, K. G., MacDonald, E. N., Byrne, S. K., et Johnsrude, I. (2009). *Talkers alter vowel production in response to real-time formant perturbation even when instructed not to compensate*. Journal of the Acoustical Society of America 125(1): 384–390.

Neufeld, C. (2013). *Multimodal targets in speech production: Acoustic, articulatory and dynamic evidence from formant perturbation*. Mémoire de maîtrise, University of Toronto.

Neufeld, C., Namasivayam, A., et Van Lieshout, P. (2013). *Bimodal sensory influence in speech control*. In Progress in Motor Control IX.

Niemeyer, W. et I. Starlinger. (1981). *Do the blind hear better ? Investigations on auditory processing in congenital or early acquired blindness*. II. Central functions. Audiology (20): 510-515.

Oller, D. K. et Eilers, R. E. (1988). *The role of audition in infant babbling*. Child Development, 59: 441–449.

Perkell J.S., Guenther F.H., Lane H., Matthies M., Perrier P., Vick J., Wilhelms-Tricarico R. et Zandipour M. (2000). *A theory of speech motor control and supporting data from speakers with normal hearing and with profound hearing loss*. Journal of Phonetics (28): 233-272.

Perkell J.S., Guenther, F. H., Lane, H, Matthies,M., L., Stockmann, E., Tiede, M., et coll. (2004). *The distinctness of speaker's productions of vowel contrasts is related to their discrimination of the contrasts*. Journal of the Acoustical Society of America. (116): 2338-2344.

Purcell, D. W. and Munhall, K. G. (2006a). *Compensation following real-time manipulation of formants in isolated vowels*. Journal of the Acoustical Society of America (119): 2288–2297.

Purcell, D. W. et Munhall, K. G. (2006b). *Adaptive control of vowel formant frequency: Evidence from real-time formant manipulation*. Journal of the Acoustical Society of America (120): 966-977.

Robert-Ribès, J., Schwartz, J.-L. Lallouache, T. et Escudier. P. (1998). *Complementarity and synergy in bimodal speech : Auditory, visual identification of french oral vowels in noise*. Journal of the Acoustical Society of America. (103): 3677-3689.

Savariaux, C., P. Perrier, et J.-P. Orliaguet. (1995). *Compensation strategies for the perturbation of the rounded vowel [u] using a lip-tube : A study of the control space in speech production*. Journal of the Acoustical Society of America (98):2428-2442.

Shadmehr, R. & Mussa-Ivaldi, F. A. (1994). *Adaptive representation of dynamics during learning of a motor task*. Journal of Neuroscience (14): 3208–3224.

Siegel, G. and Pick, H. (1974). *Auditory feedback in the regulation of voice*. Journal of the Acoustical Society of America (56):1618–1624.

Skipper, J. I., Van Wassenhove, V., Nusbaum, H. C. et Small, S.L. (2007). *Hearing lips and seeing voices: How cortical areas supporting speech production mediate audiovisual speech perception*. Cerebral Cortex. (17): 2387-2399.

Shwartz, J.-L., Basirat, A., Ménard, L. et Sato, M. (2012). *The Perception-for-Action Control Theory (PACT) : A perceptuo-motor theory of speech perception*. Journal of Neurolinguistics (25): 336-354.

Sumby, W.H., et I. Pollack. (1954). *Visual contribution to speech intelligibility in noise*. Journal Acoustic Society of America (26): 212-215.

Turgeon C., Prémont, A., Trudeau-Fisette, P. et Ménard, L. (2015). *Exploring consequences of short- and long-term deafness on speech production: A lip-tube perturbation study*. Clinical Linguistics and Phonetics 29 (5): 1-23.

Trudeau-Fisette, P., Turgeon, C. et Côté, D. (2013). *Vowel production in sighted adults and blind adults: A study of speech adaptation strategies in high intensity background noise*. Meetings on Acoustics. Journal of Acoustical Society of America.

Villacorta, V.M. (2006). *Sensorimotor Adaptation to Perturbations of Vowel Acoustics and its Relation to Perception*. Thèse de doctorat, Massachusetts Institute of Technology, Boston.

Villacorta, V. M., Perkell, J. S., and Guenther, F. H. (2007). *Sensorimotor adaptation to feedback perturbations of vowel acoustics and its relation to perception*. Journal of the Acoustical Society of America, 122(4):2306–2319.

Voss P, Gougoux F, Lassonde M, Fortin M, Guillemot JP, et coll.,(2004). *Early- and late-onset blind individuals show supra-normal auditory abilities in far space*. Current Biology (14) : 1734–1738.

Voss, P., Collignon, O., Lassonde, M. et Lepore, F. (2010). *Adaptation to sensory loss*. Cognitive Science (1) : 308–3.

Yates, A. (1963). *Delayed auditory feedback*. Psychological Bulletin (60):213–232.